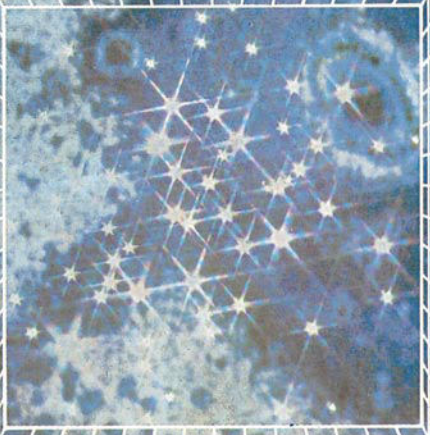
vremeplov

Isaac Asimov



ISTRAŽIVANJE ZEMLJE I KOZMOSA

razvitak i budućnost čovjekova znanja

Biblioteka Vremeplov

Naslov izvornika
ISAAC ASIMOV
EXPLORING THE EARTH AND THE COSMOS
The Growth and Future of Human Knowledge
Crown Publishers, Inc., New York
Copyright © 1982 by Nightfall. Inc.

Prijevod
DUNJA VRAŽIĆ-STEJSKAL

Odgovorni urednik
DRAGAN MILKOVIĆ
Glavni urednik
ZDRAVKO ŽIDOVEC

Isaac Asimov

ISTRAŽIVANJE ZEMLJE I KOZMOSA

Razvitak i budućnost čovjekova znanja

AC
AUGUST CESAREC ZAGREB

AUGUST CESAREC ZAGREB

Izdavač
ITRO AUGUST CESAREC
OOUR Izdavačka djelatnost, Prilaz JA 57, Zagreb

Za izdavača
DRAGAN MILKOVIĆ

Korektori
MARILKA KRAJNOVIĆ i VESNA MAGJER

Likovna oprema
NENAD DOGAN

Tehnički urednik
FRANJO PROFETA

Tisak: Štamparski zavod OGNJEN PRICA, Savska c. 31, Zagreb, 1984.

Uvod

Danas smo toliko navikli na široki raspon čovjekova znanja u stotinu različitih smjerova, da smo skloni zaboraviti koliko smo ograničeni kao pojedinci.

Zaboravite sve što je bilo prije vas i što postoji pokraj vas pa promislite o tome što je to što *vi* možete iskusiti. Nije mnogo!

Biti svjestan »svega što oko može vidjeti« znači prodrijeti u daljinu najviše nekoliko kilometara. Putujte bez pomoći drugih ljudi ili neživih naprava i otkrit ćete da je čak i nekoliko tuceta kilometara zastrašujući zadatak. Zapravo, sve do nedavno, većina je ljudi provodila čitav svoj život unutar nekoliko kilometara oko mjesta gdje su bili rođeni. Sve je ostalo za njih bilo tek naklapanje.

Što još? Kako se visoko možete uspeti? Koliko se možete spustiti pod zemlju? Posve sami, nekoliko metara na stablo ili nekoliko metara dolje niz bunar. Možete promatrati ptice i sanjariti, no sanjanje će morati biti vaš gospodar. A nebeska tijela? Ona su pravi epitom nedostižnoga. »Lajati na Mjesec« je krilatica koja izražava želju za nečim što ne možemo imati, a Mjesec je *najbliže* od tih tijela.

Čega se možete sjetiti, sami za se? Možda svojih djedova i baka i priča koje su vam pričali o tome kako je bilo kad su oni bili mladi, i o *njihovim* djedovima i bakama? Sto godina unatrag, otprilike, a sve ostalo rasplinjuje se u magli.

Koju najveću stvar možete osjetiti iskustvom? Planinu? Najmanju stvar? Trun prašine koji pleše u zraki sunca? Najtopliju stvar? Krijes? Najhladniju stvar? Studeno zimsko jutro?

U svakom ste smjeru ograničeni, a svijet vas opkoljava svojom malešnošću.

Ali ljudska bića imaju značajke koje, koliko znamo, ne posjeduje nijedno drugo živo stvorenje. Imamo beskrajnu znatiželju i ogromnu domišljatost. Prije milijarde smo godina razvili složen sustav govora uz pomoć kojega možemo izraziti apstraktne pojmove i prenijeti ih od jednih na druge. Svaki od nas može svladati ne samo vlastite misli i shvaćanja, već i tuđe. Cijela zajednica može združiti svoje prikupljene ideje i znanje.

Kasnije smo razvili sustav pisma, bilježenja govora, što je značilo da se misli i shvaćanja mogu osloboditi i probiti u prostor i vrijeme, dopirući do zajednica vrlo udaljenih od naše i do još nerođenih generacija.

Združeno znanje i ideje napokon postadoše rašireni po čitavu svijetu i stalni, tako da je nastalo vrijeme kad je svaka osoba imala na raspolaganju sva postignuća onih koji dijele svijet s nama i onih koji su došli prije nas.

Znanje je raslo, s početka polako a potom eksplozivno, i čovjekov se horizont širio u svim smjerovima. Danas tumaramo cijelim svijetom od pola do pola. Uspinjemo se na najviše planine, spuštamo se u najdublja mora, dotičemo Mjesec i šaljemo svoja vozila do Saturna da bi nam prenijela što vide.

Laćamo se i proučavamo, jednakom lakoćom, najveću zvijezdu i najmanji atom, i razmišljamo o tako zakučastim pojmovima kao što su crne rupe i kvarkovi. Ispitujemo temperature koje nadmašuju središta najtoplijih zvijezda i dubine najsamotnijih dosega nerasvijetljenoga svemira.

U ovoj ću vam knjizi pokušati prikazati u kojim se fazama sve to zbilo, ispričati vam priču o herojskome putovanju istraživanja što ga je poduzela naša vrsta i što smo ga mi naslijedili — uz letimičan pogled prema daljinama što ih još moramo svladati.

I dio
Horizonti prostora

1

Istočna polutka

PRETHISTORIJA

Život na Zemlji nastao je prije najmanje 3.500,000.000 godina, samo 1.000,000.000 godina nakon što je planet poprimio manje ili više svoj sadašnji oblik. Iako možemo sumnjati da Zemlja nije jedinstvena kao planet na kome ima života, zasad još nemamo dokaza da život postoji negdje drugdje pa stoga svoju raspravu o ekspanzivnosti života moramo ograničiti na svoj vlastiti planet.

Budući da ćemo se baviti ponajprije ljudskim bićima i svrhovitom ekspanzijom njihova područja, nema se mnogo što reći o ekspanziji života općenito. Život je nastao u moru i ostao je u moru najmanje sedam osmina svoga ukupnoga trajanja na Zemlji. Kopnene površine Zemlje bile su jalove. Zašto tome bijaše tako, nismo sigurni.

Možda su se napokon zbile neke ključne mutacije u živim stanicama zahvaljujući kojima su one postale sposobne da se zaštite od isušenja izvan mora, jezera i rijeka. Možda se u gornjoj atmosferi napokon formirao dostatan sloj ozona koji je zaustavljao najveći dio ultraljubičastog zračenja. To bi značilo da je kopneni život, izložen izravnome sunčevu zračenju, bio zaštićen od opasnih poremećaja suviše snažnih valnih dužina. Možda je Mjesec bio zarobljen u Zemljinu putanju pa je kao posljedica toga naglo povećan opseg djelovanja plime i oseke, a život bivao otplavljivan sve dalje i dalje na obalu, gdje su snage prirodnoga odabira stvarale vrste prilagođene periodičnim isušivanjima.

Ma što bilo uzrokom, život je nahrupio na kopnenu površinu Zemlje otprilike prije 425,000.000 godina. Slijedeći tu invaziju, život se širio sve dok nije ispunio zamalo svaki pojmljiv kutak na kopnu. Samo su polarne ledene plohe, najviši planinski vrhunci i najsušnije pustinje relativno bez života.

Od početka do kraja, život se sastojao od desetaka milijuna različitih vrsta, dovoljno odjelitih da budu nesposobne za križanje. Većina je od njih danas izumrla, no u ovom ih trenutku postoji možda oko 2,000.000.

Različite vrste imaju različita područja širenja. Neke su široko rasprostranjene i protežu se preko kontinenata i oceana; druge su izrazito ograničene i mogu se naći samo na kakvome određenom otočiću ili u nekoj osamljenoj dolini. Uglavnom, što je šire područje, to je vrsta imunija na lokalne promjene i katastrofe i to je uspješnija prema jedinome kriteriju koji vrijedi sa stajališta evolucije — opstanku.

Skupina vrsta koja nas najviše zanima, s egocentričnog stajališta, jest ona koja pripada razredu primata. Samo ime toga razreda izvedeno je od latinske riječi za »prvi«, isključivo s razloga što je u nj uključena i ljudska vrsta.

U cijelosti, razred primata nije baš spektakularno uspješan (uvijek izuzevši ljudska bića). Prvi primati razvili su se vjerojatno otprilike prije 75,000.000 godina, a danas postoji oko 200 vrsta kojih je područje (ako ne računamo ljudska bića) gotovo potpuno ograničeno na tropе. Štoviše, nijedna vrsta (i opet, ako ne računamo ljudska bića) ne može se naći na velikom rasponu područja. Neke grupe ograničene su na dijelove Južne Amerike, neke na dijelove Afrike, neke na dijelove jugoistočne Azije i tako dalje.

Ipak, uspješni ili ne, primati su se specijalizirali u snazi mozga. Za svoju veličinu, imali su neobično velik i dobro razvijen mozak, a kako je vrijeme prolazilo, novorazvijene vrste primata imale su sve veći i veći mozak.

Grupa vrsta u razredu primata koja je razvila mozak do njegova najvišeg stupnja pripadala je porodici hominidae. Pojedine vrste iz te porodice možemo nazvati *hominidima*, prema latinskoj riječi za »čovjek«, jer su sve one, čak i najprimitivnije, bile sličnije suvremenim ljudskim bićima nego suvremenim velikim čovjekolikim majmunima koji su najbliži rođaci čovječanstva među živućim vrstama.

Hominidi su razvili uspravan položaj najmanje prije 14,000.000 godina. To se prvobitno moglo zbiti u istočnoj Africi, no hominidi su se vremenom proširili do Južne Afrike i južne Azije.

Unatoč ekspanziji njihova mozga, teško da je moglo biti neke svrhe u ekspanziji područja života hominida. Kao što je vrijedilo za sve ostale vrste do toga vremena, i hominidi su reagirali na potiske i privlačenje — potiske drugih (ili vlastite ili drugih vrsta koje su već ispunile neko područje i koje su bile izravni suparnici) i privlačenje relativno praznih područja bogatih hranom neposredno iza već osvojena prostora.

Poput ostalih primata, prvi hominidi nisu se širili izvan tropskih područja, jer nisu bili adaptirani tako da bi mogli podnijeti hladne noći i zime umjerenih zona, niti su mogli naći dovoljno hrane u zimskim mjesecima.

Homo erectus razvio se otprilike prije 1,500.000 godina, a veličinom mozga nalazio se negdje na pol puta između prvih hominida i današnjih ljudskih bića.

Upravo je *Homo erectus* postigao najznačajniji napredak u povijesti čovječanstva, jer je ta vrsta prva svjesno upotrijebila vatru. Bilo je to nešto što nijedna druga vrsta prije nije učinila, i nijedna druga vrsta (osim još naprednijih hominida) kasnije.

Upotreba vatre omogućila je *Homo erectusu* da krene dalje na sjever nego što su to bili u stanju prvi hominidi — svakako do okolice Pekinga u Kini gdje su pronađeni fosili i ostaci logorskih vatri, a vjerojatno i do Evrope.

Tek vjerojatno prije 250.000 godina pojavili su se hominidi velikoga mozga, pripadnici vrste *Homo sapiens*, vrste kojoj mi pripadamo. Njihovo se područje proširilo daleko na sjever Evrope, iako je zbog prisutnoga ledenog doba klima bila osobito oštra.

Gotovo od početka, *Homo sapiens* povećao je opseg svoga područja do besprimjernih razmjera, upotrebljavajući vatru i životinjske kože radi zagrijavanja i naoštrene kamene sjekire i koplja s kamenim vršcima za obranu i napad.

Prvi predstavnici *Homo sapiensa* nisu bili posve slični predstavnicima koji danas žive, već su pokazivali razlike u obliku lubanje, na primjer. Nazivamo ih »Neandertalcima« *(Homo neanderthalensis)*. Sve do konca svoga postojanja

Neandertalci su bili ograničeni na »Svjetski otok« Evrope, Azije i Afrike.

No, prije 35.000 godina pojavio se »suvremeni čovjek«, varijanta *Homo sapiensa* kojoj mi pripadamo. Ubrzo će to biti jedina postojeća vrsta hominida. Po svoj su prilici suvremeni ljudi bili djelotvorniji u ratu pa su uništili Neandertalce, iako postoje dokazi da su se također mogli s njima križati.

Poslije pojave suvremenog čovjeka područje života hominida napokon se proširilo izvan Svjetskoga otoka.

Kad je svako od periodičnih ledenih doba bilo na svome vrhuncu, razina mora spuštala se tako nisko, zahvaljujući vodi zarobljenoj u divovskim ledenim pokrivačima koji su prekrivali Kanadu, Sibir i Skandinaviju, da su Sibir i Aljaska bili povezani širokim kopnenim mostom, dijelovi kojega nisu bili prekriveni ledom.

U tim su vremenima sibirski lovci progonili mamute, danas izumrle rođake slona, one koji su bili prilagođeni arktičkome životu. U tom su lovu prelazili u Sjevernu Ameriku, gdje do tada nikad nije bilo nikakvih hominida, pa ni čovjekolikih majmuna. To je bilo nešto prije 20.000 godina prije nove ere. Oko 16.000 godina prije nove ere ljudska su bića doprla do Južne Amerike, a 8.700 godina prije nove ere bila su kod Magellanova prolaza, prešla ga i stigla do Ognjene zemlje, otoka jugoistočno od prolaza. To je bio najjužniji komadić kopna što su ga na svijetu trajno okupirala predcivilizirana ljudska bića.

Još prije toga, ljudska su bića iskoristila spuštenu razinu mora da bi prešla na Novu Gvineju i Australiju.

Do tada, gotovo svako kopneno područje značajnije veličine koje nije bilo prekriveno stalnim ledenim pokrivačem imalo je svoju populaciju *Homo sapiensa.*

Homo sapiens bio je prva kopnena vrsta koje se područje rasprostiralo širom svijeta, a otada je prerastao u najbrojniju vrstu svoje veličine koju je svijet ikad vidio. Što više, nijedna druga vrsta života nije nikad u cijeloj povijesti svijeta činila tako velik dio ukupne životne mase na planetu.

Pa ipak, iako su se ljudska bića proširila cijelim licem globusa i zauzela sve kontinente na Zemlji osim Antarktike još prije no što je započela civilizacija, nijedna pojedinačna grupa ljudskih bića nije poznavala ništa drugo od Zemljine kopnene površine do svoju neposrednu okolicu, svoj grad, svoja polja.

Pa i tamo gdje se obavljala trgovina na dugim i širokim područjima, roba je mnogo puta mijenjala vlasnika i vjerojatno nijedan trgovac nije daleko putovao.

Tek s početkom civilizacije horizonti su se počeli širiti, a tada je razlog za to bio žalostan, jer su naime ljudska bića naučila primjenjivati vojne tehnike da bi gradila carstva. Kad su uspostavljena carstva, barem su neki pojedinci — vladari, vojnici, glasnici — stekli općenit uvid u cjelinu.

Najveća antička carstva površinom su bila ravna suvremenim Sjedinjenim Državama. Perzijsko carstvo i Rimsko carstvo oba su površinom dosezala gotovo 7,500.000 četvornih kilometara, iako u prvome stanovništvo nije premašivalo 15,000.000, a u drugome 40,000.000 ljudi. Rana carstva Indije i Kine bila su površinom nešto manja, ali zato napučenija. Kinesko carstvo Han koje je postojalo u vrijeme Rimskoga carstva imalo je više od 50,000.000 stanovnika.

Najveće predindustrijsko carstvo bilo je Mongolsko. Kublaj Kan je 1270. godine vladao područjem većim od 28,500.000 četvornih kilometara; njegovo je kraljevstvo bilo područjem veće od ijednoga susjednoga kopnenoga carstva prije ili poslije. Protezalo se od Dunava do Pacifičkog oceana, zauzimalo je petinu cijeloga kopnenog područja na svijetu i imalo je 120,000.000 stanovnika.

Za vrijeme svega toga, zapadna Evropa ostala je relativno provincijalna. U antičko je doba bila dijelom Rimskoga carstva i obrazovani su zapadnjaci poznavali svijet Sredozemlja barem preko čitanja, a imali su i neki pojam o Srednjem istoku sve do Indije.

No zapadna je Evropa poslije sloma Rimskog carstva 400-tih godina postala barbarska i njezinu je svijest sputavao s juga i istoka u uske granice neprijateljski svijet islama.

Prvi Zapadni Evropljanin koji je prodro na islamske teritorije na istoku i koji je opisao svoja putovanja, nije bio kršćanin već Židov. Bio je to Benjamin iz Tudele, rođen u

Navarreu na francusko-španjolskoj granici početkom 1100-tih godina. Između 1159. i 1173. otputio se na putovanje daleko prema istoku, dijelom zbog trgovine a dijelom zato da posjeti razne židovske zajednice. Probio se do zapadne granice same Kine. Njegov opis putovanja, međutim, kako je to bio opis jednoga Židova, nije mnogo utjecao na kršćanski svijet onog vremena. Zapadna Evropa sukobila se s osvajačkim Mongolima 1240, no ostala je izvan Mongolskoga carstva samo zato što je u kritičnome trenutku umro mongolski kan pa su se mongolske vojske povukle da izaberu novoga. Postojanje carstva koje je ogromne teritorije dovelo pod vlast jednoga jedinog snažnog vladara mnogo je olakšalo putovanja kopnom, barem utoliko što je bilo manje opasnosti od anarhičnoga banditstva. Zapad je to iskoristio.

Pod pokroviteljstvom pape, ekspedicije su bile odašiljane prema istoku da preobrate Mongole, dobiju njihovu pomoć protiv islama i osiguraju se od daljnjih invazija na kršćanske zemlje. Prva takva misija krenula je u proljeće 1245, predvođena jednim franjevcem, Giovannijem de Pianom Carpinijem, rođenim oko 1180. Misija se probila sve do mongolske prijestolnice u Karakorumu (tamo gdje je danas NR Mongolija) i vratila se u Evropu poslije putovanja koje je trajalo više od dvije godine.

Kod Mongola ništa nije postignuto, ali ubrzo nakon povratka Carpini je opisao svoja putovanja, trezveno i točno. Bila je to za zapadne čitatelje prva mogućnost da pročitaju razborit opis središnje Azije.

Njega je, međutim, nadmašio William od Rubrucka, francuski franjevac rođen oko 1215. Francuski kraj Louis IX koji je tada u Palestini sudjelovao u križarskome ratu, poslao je 16. rujna 1253. Mongolima poslanstvo predvođeno Rubruckom. Pošavši Carpinijevim tragom, osam godina poslije prethodne ekspedicije, Rubruck je postigao jednako malo kao i ona, no napisao je još bolji putopis od Carpinijeva.

Vrhunac je nadošao s Marcom Polom (1254—1324), venecijanskim istraživačem. Kad je još bio malen dječak, njegov otac Niccolo i stric Maffeo krenuli su na istok radi trgovine. Pošli su 1260. godine, kad je Mongolsko carstvo bilo na vrhuncu moći pod Kublaj Kanom.

Venecijanci su posjetili Kublaj Kana u njegovoj ljetnoj palači u Shangtuu (koji je u Evropi postao poznat kao Ksa-

nadu). Kan ih je lijepo primio i poslao ih je natrag u Evropu.

Polovi su se vratili u Kinu 1275. i tada je Marco bio s njima. Marco se svidio Kanu i uspeo se za njegove vladavine do visoka položaja, služeći kao diplomat od povjerenja. No kad je Kan ostario, Polovi su smatrali da se ne mogu pouzdati u naklonost njegova nasljednika, pa kad im je povjerena misija da otprate jednu mongolsku princezu u Perziju, iskoristili su mogućnost da nastave dalje prema kući. Napokon su opet stigli u Veneciju 1295.

Godine 1298. Venecija je bila u ratu s rivalskim talijanskim priobalnim gradom Genovom, i Marco Polo, na zapovjedničku položaju u venecijanskoj floti, bio je zarobljen. Dok je bio u genovskome zatvoru, izdiktirao je pripovijest o svojim putovanjima. Nije se toliko bavio osobnim stvarima, koliko opisima dijelova Azije i Afrike koje je dosta dobro upoznao. Ta se knjiga pokazala silno popularnom i od toga doba nadalje obrazovani su Evropljani saznali za Svjetski otok.

ANTIČKA PUTOVANJA MOREM

Putovanje kopnom, sve tamo od vremena Marca Pola i zapravo još pet stoljeća kasnije, bilo je uvijek opasno. Najbrže transportno sredstvo bio je konj; valjalo je pregaziti potoke i rijeke, prolaziti kroz šume, prelaziti jaruge, uspinjati se planinskim lancima, nositi sa sobom zalihe.

Voda koja je za prve ljude predstavljala barijeru, postala je glavnom prometnicom kad su izumljeni brodovi. Voda je, uostalom, za mirna vremena uvijek bila na istoj razini, a plovljenje je bilo lakši oblik napredovanja od hodanja, trčanja ili čak jahanja. Prve civilizacije nastale su duž riječnih tokova kao što su Nil, Eufrat, Ind i Huang-ho, i u svakom je od tih slučajeva rijeka pružala sredstvo za putovanje i obavljanje trgovine. S početka su postojale splavi od materijala lakših od vode, kao što su trska, kora stabala, trupci ili napuhnute kože. Potom su splavi oblikovane kako bi se njima moglo manevrirati. Zatim su ih počeli dupsti u kanue i čamce tako da su se u udubljenjima mogli prevoziti veći tereti, jer su izdubljeni čamci istiskivali više vode pa je to omogućavalo prevoženje većih tereta.

Takve je splavi i čamce tekuća voda lako odnosila nizvodno, no uzvodno ih je valjalo pokretati veslanjem ili motkama. Napokon se počeše upotrebljavati jedra za hvatanje vjetra tako da se čamac mogao brže pokretati na mjestima gdje je struja bila slaba — ili čak protiv struje. Oko 2600. godine starog vijeka Egipćani su imali drvene lađe opremljene jedrima koje su se kretale uzvodno i nizvodno Nilom.

Riječna plovidba bila je relativno laka. Čovjek je uvijek vidio obale i u slučaju nevolje mogao je uvijek odjedriti, odveslati ili, ako je bilo potrebno, čak otplivati do tih obala. Situacija je bila drukčija ako bi se netko odvažio izaći na otvoreno more, primjerice kroz ušće Nila u Sredozemno more.

Tamo se moglo dogoditi da se kopno izgubi s vidokruga. Prirodno, srčanost bi iznevjerila mornara koji ne bi vidio ništa do vodene pustoši sve do horizonta u svim smjerovima. Kako da čovjek ponovno pronađe kopno? U kojem smjeru? A što ako naleti oluja i slomi krhki jedrenjak, a ni u kojem smjeru nema kopna kome bi se krenulo?

Potreba za trgovanjem odvodila je ljude na more. Egipćani su, primjerice, željeli drvo kojega je nedostajalo u Egiptu, ali zato ga je bilo u izobilju u Libanonu. Trupce se moglo dovlačiti obalom iz Libanona u Egipat, no to je bio previše težak posao. Moglo ih se natovariti na brodove te uz pomoć jedara ili vesala prevesti u Egipat, što je bilo mnogo lakše. No, brodovi koji su obavljali takvu trgovinu držali su se obale što su više mogli.

Prvi ljudi koji su razvili rutinsku pomorsku trgovinu bili su minojski narod s otoka Krete, već 2000. godine prije nove ere. Budući da je Kreta bila otok, morala se osloniti na more radi trgovine, no pomoglo je i to što je gotovo u svim smjerovima bilo otoka ili kontinentalnoga kopna. Krećani su se upućivali u rizik plovidbe izvan vidokruga kopna, ali nisu odlazili na duga putovanja.

Prvi navigatori velikoga dosega bili su Feničani, narod koji je živio duž obale tamo gdje su danas Izrael i Libanon. To je narod u bibliji poznat kao Kanaanićani. »Fenicija« je grčko ime prema grčkoj riječi za »purpuran«, jer je glavni fenički grad Tir bio poznat po proizvodnji purpurne boje.

Feničani su možda bili prvi koji su se naučili oslanjati na zvijezde kao na navigacijski putokaz, otkrivši primjerice da se Veliki Medvjed nalazi uvijek na sjeveru, tako da je

morao biti uvijek s desne strane ako se htjelo jedriti na zapad, a s lijeve da bi se jedrilo prema istoku.

Oko 1000. godine prije nove ere Feničani su se usuđivali ploviti zapadnim Sredozemljem, i zbrkane priče o onome što su tamo pronašli, promijenjene udaljenošću i ponavljanjem, postavile su temelje za čudesne odlomke o Odisejevim lutanjima u *Odiseji.* (Slično tome, istraživanje Crnoga mora što su ga započeli prvi grčki trgovci bilo je podlogom za priče o Jasonu i Argonautima.)

Ubrzo poslije 800. godine pr. n. e. Feničani su osnovali Utiku i Kartagu na zemlji koja se danas zove Tunis. Osobito je Kartaga ojačala i kolonizirala najzapadnije obale Sredozemlja, i sjeverne i južne.

Feničani su bili prvi sredozemni narod koji se upustio kroz Gibraltarski prolaz u Atlantski ocean. Nisu, međutim, shvatili da je to ocean kakvim bismo ga mi smatrali u današnjem smislu. Smatralo se da je to rijeka koja teče oko ravnoga nastanjenog kopnenog područja (onog dijela Svjetskoga otoka poznatog antičkim Grcima i Feničanima).

Feničani su istraživali i prema sjeveru i prema jugu od Gibraltarskog prolaza. Negdje u Atlantiku Feničani su otkrili »Cassiterides« ili »Kositrene otoke«, gdje su vadili rudaču kositra. To je bilo presudno za proizvodnju bronce, nakon što su se iscrpili oskudni izvori kositra istočnoga Sredozemlja.

Feničani su lokaciju Kositrenih otoka držali tajnom kako bi osigurali monopol nad tom vrijednom sirovinom, i činili su to tako dobro da danas ne znamo pouzdano gdje je ta lokacija bila. Obično se smatra da je to bio Cornwall, poluotok na jugozapadnom vršku Velike Britanije, ili otoci Scilly pokraj Cornwalla, jer su se na obje lokacije u kasnijim stoljećima nalazili bogato eksploatirani rudnici kositra.

Najznačajnije kazivanje o feničkim istraživanjima ispričao je grčki povjesničar Herodot. On kaže da je oko 600. godine prije nove ere egipatski vladar Necho otposlao jednu feničku ekspediciju da istražuje obale Afrike. Ekspedicija se, predvođena feničkim pomorcem Hannom, sastojala od šezdeset brodova i 30.000 naseljenika, a svrha joj je bila osnivanje gradova. Jedrili su istočnom obalom Afrike, obišli kontinent i vratili se u Egipat preko Gibraltarskog prolaza tri godine kasnije.

Herodot odlučno izjavljuje da on to ne vjeruje jer, kako kaže, fenički izvještaj uključuje tvrdnju da je Sunce, kad su jedrili pokraj južnoga vrha afričkoga kontinenta od istoka prema zapadu, bilo s desne strane (prema sjeveru). Budući da se Sunce u sjevernoj umjerenoj zoni, gdje je bilo smješteno sve kopno poznato Herodotu, uvijek nalazi na jugu, to je izazvalo Herodotov skepticizam. Ali, južni vrh Afrike nalazi se u južnoj umjerenoj zoni, a tamo će Sunce doista uvijek biti na sjeveru. Feničani nikad ne bi smislili neku prividno tako neprirodnu situaciju da je doista nisu bili doživjeli, što navodi na vjerovanje da je plovidba oko kontinenta bila činjenica.

Oko 450. godine prije nove ere, drugi fenički moreplovac, Hamilco, prema jednom nejasnome prikazu, istraživao je atlantsku obalu prema sjeveru, duž sadašnjega Portugala, Španjolske i Francuske, a moguće je da je dopro i do Britanije. Možda je to bio uobičajeni fenički put do Kositrenih otoka.

Tako dugo dok je vlast Kartage nad Gibraltarskim prolazom bila snažna, nikakvi drugi brodovi osim feničkih nisu mogli izlaziti u Atlantik. Međutim, 300-tih godina prije nove ere Kartaga je vodila niz ratova s grčkim gradom Sirakuzom na Siciliji i u određenoj je mjeri prošla gore. Kartaginska vlast nad prolazom je oslabila, pa je oko 320. godine prije nove ere jedan grčki moreplovac, Pytheas iz Massilije (današnji Marseilles) umakao na Atlantik i odjedrio prema sjeveru.

Poput Hamilca, Pytheas je istraživao obale Portugala, Španjolske i Francuske. Nedvojbeno je da je stigao do Britanije, a čini se i da ju je oplovio. On govori o načinu na koji su Britanci vršili svoje žito na zatvorenom (zbog lošeg vremena na otoku). Opisuje također pića napravljena od fermentiranoga žita (pivo) i meda (medovina). Zapazio je na koji se način povećava razlika u duljini dana i noći kako je išao dalje prema sjeveru i primijetio velike razlike između plime i oseke (nešto što se nije događalo u Sredozemlju koje gotovo da i nema plime i oseke).

On je ili sam posjetio ili, vjerojatnije, slušao o mjestima tako daleko na sjeveru da ponekad sunce uopće ne bi izlazilo pa je cijeli dan bila tmina. Zemlju do koje se probio najdalje na sjeveru nazvao je Thule. Najvjerojatnije je to bila Skandinavija. Od njegova doba, Zapadni Evropljani smatrali su ocean više ili manje onim što doista i jest.

Fenička i grčka istraživačka putovanja nisu stvorila modu. Priče se pamtilo nejasno i odbacivalo ih se kao fantastična pretjerivanja ili, ako su i bile točne, kao nešto što ne zanima praktične ljude — a kasniji gospodari Sredozemlja bili su Rimljani koji bijahu nadasve praktični te istraživahu samo tako daleko kako bi osvojili i ne dalje.

Otprilike u vrijeme kad su se Feničani upuštali na svoja istraživačka putovanja, na drugoj strani svijeta Polinežani su ostvarivali još veće pothvate. I doista, uzme li se u obzir tehnologija koja im je bilo dostupna, Polinežani su nedvojbeno bili najveći i najsmioniji pomorci što ih je svijet ikad imao.

Kopneno područje u južnom Pacifiku ukupno iznosi blizu 1,000.000 četvornih kilometara. To je područje veliko kao pol Teksasa, ali kopno je raspršeno na 10.000 sićušnih komadića preko oceana što prekriva gotovo cijelu jednu polutku. Kopneno područje Južnog Pacifika čini tek nešto više od 0,5 posto oceana u kojem je smješteno.

Krenuvši iz Indije i Australije oko 8000. godine prije nove ere Polinežani su se postupno širili od otoka do otoka, prevaljujući goleme udaljenosti u primitivnim brodovima u obliku kanua. Do 1000. godine naše ere zauzeli su ogroman pacifički trokut kojega su kutovi bili Novi Zeland na jugozapadu, Havaji na sjeveru i Uskršnji otok na istoku. Njihovi su primitivni brodovi prevozili Polinežane uzduž i poprijeko oko 14,000.000 četvornih kilometara oceana.

I ovdje opet, međutim, utjecaj na ostatak svijeta i na buduće generacije bio je ništetan. Štoviše, polinezijska kultura nije mogla održavati bliske veze među otocima pa je izolacija postala pravilom.

SREDNJOVJEKOVNA PUTOVANJA MOREM

U kasnijim stoljećima polinezijske ekspanzije, u Evropi se pojaviše novi moreplovci na područjima koja nisu bila dio Rimskog carstva.

Jedno od tih područja bila je Irska do koje rimski legionari nisu nikad doprli. Između 500. i 800. godine, kad se Rimsko carstvo na zapadu raspalo i kad se sama Britanija vratila gotovo barbarizmu, Irska je doživjela zlatno doba kulture i učenosti.

Kršćanstvo je stiglo u Irsku 433. sa sv. Patrickom i zajednice redovnika sačuvale su učenje i čak upotrebu grčkoga. Jedan od njih, sv. Brendan, bio je prvi moreplovac poslije Pytheasa koji se odvažio na otvoreni Atlantik. On je istraživao otoke uz obalu Škotske i jedrio među otočjem Shetland, 200 kilometara sjeverno od Škotske.

Možda je i Pytheas stigao do Shetlanda, no moguće je da je sv. Brendan otišao još dalje na sjever do otoka Faeroe, oko 320 kilometara sjeverno od Shetlanda. Kasnije su irski redovnici polazili tragom sv. Brendana i oko 795. irske su lutalice možda doprle do Islanda, oko 480 kilometara sjeverno od Faeroea.

Pa ipak, irska istraživanja Atlantika, poput feničkih i grčkih, nisu imala trajnih učinaka i nisu dovela do stalnih naseobina. Priče su se izgubile u mitu i kasnijem iskrivljavanju pa je gotovo nemoguće reći što su zapravo irski istraživači učinili, a što im se samo pripisuje u pričama.

Potom dođoše norveški Vikinzi. Tijekom razdoblja od oko 250 godina, počevši otprilike 790, vikinški su pljačkaši terorizirali cijelu obalu zapadne Evrope. Vikinzi su okupirali najveći dio Irske i Škotske, okončavši zlatno doba Irske. Teško su poharali anglosaksonska kraljevstva osnovana u Britaniji nakon povlačenja Rimljana. Pljačkali su obale i rijeke današnje Francuske i Njemačke i čak su prodrli do Sredozemlja, i izravno morem i kopnom preko Rusije.

Oni su također plovili dotad nepoznatim morima. Oko 870, Viking imenom Ottar odjedrio je prema sjeveru iz čiste znatiželje. Rekao je da je želio vidjeti kako daleko na sjeveru postoji kopno i je li ta daleka sjeverna zemlja naseljena.

Čini se da mu je uspjelo oploviti sjeverni kraj Skandinavskog poluotoka te proći pokraj današnjega Sjevernog rta, najsjevernije točke evropskoga kontinenta. Sjeverni rt nalazi se na 71,1 stupnju sjeverne geografske širine, oko 200 kilometara sjeverno od polarnog kruga. Pod pretpostavkom da su ti navodi točni, to je prvi poznati prijelaz polarnoga kruga morem.

Ottar je plovio iza Sjevernog rta, gdje je obala skretala prema jugoistoku, duž današnjega poluotoka Kola, a zatim je ušao u Bijelo more.

Vikinzi su doprli na sjever i dalje od Sjevernog rta. Godine 1194, prema nekim starim zapisima, Vikinzi su naišli na otok što su ga nazvali Svalbard. To se obično poistovjećuje

s grupom otoka koje bolje poznajemo kao Spitzbergen. Čak i najjužnija točka Spitzbergena nalazi se na 76,6 stupnjeva sjeverne geografske širine i 450 kilometara sjeverno od polarnog kruga. To je najsjeverniji doseg Vikinga.

Još dramatičnija putovanja Vikinzi su poduzimali prema zapadu. Još i prije Ottarova puta na sjever stigli su do otočne skupine Faerøerne, gdje su osnovali prvu stalnu koloniju. Ako je i bilo Iraca koji su se prije toga naselili na tim otocima, ili su izumrli ili su bili otišli.

Otočje Faerøerne bilo je samo stajalište za vikinške moreplovce. Jedan norveški prognanik, Ingolfur Arnarson, iskrcao se na Islandu 874. godine. I opet, svi Irci koji ikad bijahu tamo su otišli, a vikinško je naselje stvoreno i ostalo je tamo zauvijek. Otočje Faerøerne i Island bili su prve dotad puste zemlje koje su u povijesno doba trajno naselili Evropljani.

S planinskih vrhunaca na sjeverozapadu Islanda čovjek može nejasno razaznati kopno na horizontu (oko 120 kilometara prema sjeverozapadu), i na tom je dijelu otoka živio Eric Thorvaldsson potkraj 900-tih godina, uglavnom poznat kao Erik Crveni zbog boje kose.

Godine 982. Erik je zbog nekog prijestupa prognan na tri godine pa je odlučio to vrijeme iskoristiti za istraživanja. Dopro je do kopna na zapadu, odbojnoga mjesta leda i pustoši, i oplovio njegov južni vrh (oko 550 kilometara zapadno od Islanda). Jugozapadna obala onoga što se pokazalo ogromnim otokom činila se nešto manje pustom od jugoistočne obale i Erik je procijenio da je sposobna prehraniti koloniju.

Godine 985. Erik je opet bio na Islandu, primamljujući koloniste za svoju novu zemlju koju je, iz reklamnih razloga, nazvao Grenlandom. Ako je ikad neko ime dovodilo u zabludu, bilo je to upravo to ime, no otok ga je zadržao do današnjega dana. Četrnaest brodova osnovalo je koloniju 986. i ta se kolonija održala više od četiri stoljeća. Na vrhuncu uspjeha, oko 1200 godine, na otoku je boravilo možda čak 3.000 Vikinga.

Grenland je služio kao baza za istraživanje dalje prema zapadu. Oko 1000. godine, sin Erika Crvenog, Leif Ericcson, poveo je grupu ljudi do mjesta iskrcavanja negdje na sjevernoameričkom kontinentu, možda na otoku Newfoundland. Nekoliko godina Vikinzi su pokušavali osnovati koloniju na

mjestu koje su nazvali Vinland (točna lokacija kojega je neizvjesna), no to nije dugo potrajalo.

Za razliku od Islanda i Grenlanda, Vinland nije bio bez stanovništva. Tamo su bili ljudi koje su Vikinzi nazvali Skrellingima, ljudi koji su kasnije nazvani Indijancima. Njihov otpor napokon je iscrpio koloniste Vinlanda koji su napustili to područje. Ipak, Grenlanđani su rutinski putovali do obale Sjeverne Amerike da nabave drvo, jer na Grenlandu nije bilo stabala.

Na Grenland su se 1300-tih godina sručila teška vremena. Velika epidemija kuge pogodila je Evropu 1340-ih godina, a u Skandinaviju i na Island stigla je 1349. To je smanjilo razmjenu brodova koja je Grenlanđanima značila životnu snagu. Zadnji brod otplovio je iz Norveške za Grenland 1367.

Drugo, Zemlja je prolazila kroz blagu tendenciju hlađenja i grenlandska klima, vrlo loša i u najboljem slučaju, postala je tako nepovoljna da je doslovno onemogućila poljoprivredu.

Konačni udarac možda su zadali Eskimi. To je bio narod azijskog podrijetla koji je naučio kako živjeti u miru s arktičkom klimom i koji je razvio načine prehranjivanja morskim životinjama.

Eskimi su se nastanili na obalama Aljaske oko 1. godine nove ere i polako su se probijali prema istoku. Oko 1000. godine, ne mnogo kasnije nego što su Vikinzi dosegli jugozapadni Grenland, Eskimi su doprli do sjeverozapadnog Grenlanda. Uporno su se probijali prema jugu, a kad napokon stigoše do vikinških naselja, njihovo neprijateljstvo možda je bilo zadnja kap vode.

Oko 1415. grenlandska je kolonija došla kraju i taj je prostrani otok prepušten Eskimima.

Od vikinških je istraživanja, prema tome, malo što proizašlo. Postojao je dakako Island — ali ništa više. Priče o drugim zemljama do kojih su stigle te neustrašive sjeverne pomorske lutalice nisu se probile do srca zapadne Evrope, a ona šaputanja o postojanju Grenlanda i zemalja još dalje na zapadu koja su možda doprla do njih, bila su pretvorena u bajke u koje su neki vjerovali, a neki ne.

Dok su Irci i Vikinzi prkosili hladnim sjevernim dosezima Atlantika, i dok su Polinežani izazivali ogromnu pustoš Pacifika, Arapi su jedrili Indijskim oceanom. Činjenica da su mnogi ljudi u Indoneziji i Republici Filipinima danas muslimani, sadrži dokaz o domašajima tih trgovaca čija kazivanja, iskrivljena i romantizirana, još postoje u pričama o Sinbadu Moreplovcu u *Tisuću i jednoj noći.*

Pa ipak je, u srednjem vijeku, Kina bila tehnološki najnaprednija nacija na svijetu. Tijekom kratkog je vremenskog razdoblja bila pod mongolskom dominacijom, no to nije promijenilo tu činjenicu. Kina je lebdjela na rubu velikoga napretka koji će promijeniti sve i prenijet će ga svijetu i onima što su ga bili u stanju provesti do kraja.

Magnetska svojstva određenih minerala bila su poznata od antičkog doba. Sposobnost tih minerala da prenesu svoja magnetska svojstva na čeličnu iglu također je bila poznata. Na neki način (ne znamo točno kako ni kada ni tko je to postigao), otkriveno je da će takva jedna magnetizirana igla, ako se postavi u ravnotežu na stožeru i zaštititi od zračnih struja, zauzeti položaj sjever-jug.

Znamo, međutim, *gdje* je to otkriveno. To je otkriveno u Kini, gdje se takve stvari prvi put spominju 1000-tih godina.

Jasno je (barem gledajući unatrag, sa sadašnjim iskustvom) da takva stvar kao što je igla koja se vrti (što danas zovemo »magnetskim kompasom«) može biti čudesna pomoć navigaciji. Ona je mogla pokazivati sjever pa prema tome, indirektno, *sve* smjerove, danju ili noću, za lijepa ili ružna vremena. Nitko više ne bi morao ovisiti o zalasku Sunca, izlasku Sunca, Sjevernjači, Velikom medvjedu ili bilo čemu drugom što loše vrijeme može sakriti.

Moreplovcima to nije promaklo. Oko 1100. godine, arapski trgovci čiji su brodovi redovito plovili do indonezijskih otoka, saznali su o ponašanju magnetizirane igle koja uvijek traži sjever i upotrebljavali su kompas da ih vodi. Toliko izvještava jedan kineski pisac onoga doba.

Vijesti o kompasu probijale su se na zapad i prvi Evropljanin koji ga je spomenuo, koliko znamo, bio je engleski učenjak Alexander Neckam. Već je 1180. govorio o kompasu kao jednom od bitnih elemenata navigatorskog umijeća.

Svijet je tada bio spreman prepustiti se prvome narodu koji je voljan neustrašivo upotrijebiti kompas, uputiti se prema dalekim dosezima mora i posvojiti cijeli prostrani ocean.

Jedan narod stajao je na rubu uspjeha, a bijaše to Kina.

Godine 1368. Kinezi su istjerali Mongole i ujedinili se pod domaćom dinastijom Ming. Sa stanovništvom koje je tada doseglo 80,000.000 ljudi unatoč pustošenju mongolskog podjarmljenja, Kina je bila napučenija od cijele Evrope, bila je ujedinjena dok je Evropa bila razjedinjena, imala je snažnu i djelotvornu vladu, bila je daleko kultiviranija i tehnološki naprednija od svake druge regije na Zemlji, imala je bolje i brojnije brodove i najdulje je upotrebljavala kompas. Štoviše, Kina je imala cara koji je bio fasciniran morima i jednoga admirala koji je mogao upravljati flotom bolje od ma koga drugoga na svijetu u ono vrijeme.

Car o kojem je riječ bio je Yung-lo. Carem je postao 1402. i sanjario je o prekomorskim osvajanjima. Admiral Yung-loove flote bio je Cheng-ho, jedan eunuh rođen u Junanu, jugozapadnoj kineskoj provinciji. Godine 1405. Cheng-ho je odjedrio sa 300 brodova i 27.000 ljudi.

Flota Cheng-hoa posjetila je Indoneziju, Malaju i Cejlon, posvuda uspostavljajući kinesku prevlast, pobjeđujući domaće vojske i dovodeći natrag zarobljene domaće vladare. Sve u svemu, Cheng-ho ostvario je ne manje od sedam uspješnih prekomorskih ekspedicija i otplovio je na zapad sve do Crvenog mora, posjetivši Meku i Egipat.

Što je krenulo loše?

Car Yung-lo umro je 1424, a njegovi nasljednici nisu bili zainteresirani za nastavljanje prekomorskih ekspedicija. Zbog svoje samodopadnosti (donekle opravdane) stoga što je bila najnaprednija sila na svijetu, Kina je potcijenila važnost doticanja s ostalim silama. Povukla se u se, u izolaciju koju je sama sebi nametnula, i drugima prepustila vladanje nad morima.

Kina je tako izgubila utrku za naslov prve svjetske sile. Druge nacije, daleko manje, slabije napučene i manje napredne, postigle su pobjedu. (Dakako, u to vrijeme ni gubitelj ni pobjednik nisu, međutim, znali da je riječ o utrci).

2

Svijet kao cjelina

OBALE AFRIKE

Zapadna je Evropa bila pobjednik, i to ponajprije samo jedan njezin mali dio, praktički najmanji i najbeznačajniji dio.

Zapadna Evropa bila je u to vrijeme prilično osiromašen i zaostali dio civiliziranog svijeta. Bila se upoznala s višim standardom života na Istoku i s mnogim pojedinostima istočnjačke kulture i profinjenosti, također i komfora, za vrijeme križarskih ratova. Knjige Marca Pola također su ih impresionirale svojim pričama o nevjerojatnom bogatstvu i raskoši »Indije«. Zapadna Evropa sve je više žudjela za stvarima kakve su šećer, mirodije i svila koje su se mogle dobaviti samo s Istoka.

Te su stvari, i druge, bile, međutim, vrtoglavo skupe, jer su putovale kopnom od istoka do zapada preko mnogih posrednika od kojih je svaki ubirao zaradu. K tome, Otomanski Turci postajali su sve snažniji duž obala istočnog Sredozemlja. Bili su neprijateljski raspoloženi prema kršćanskome Zapadu i postavljali su barijere trgovini.

Nekim je Zapadnjacima palo na um da bi lako mogao postojati put morem do Indije koji bi zaobilazio Turke i sve posrednike i koji bi omogućio izravnu trgovinu. Jedna osoba kojoj se javila ta misao bio je princ Henrik (1394—1460), treći sin Ivana I Portugalskog.

Portugal je bio najzapadnija zapadnoevropska sila, posljednji na redu za blaga s Istoka. Gledao je prema Atlan-

tiku i nalazio se na neposrednom sjeveru od Afrike. Osiguravši sebi nezavisnost u odnosu na veću istočnu naciju Kastiliju, Portugal je tražio avanturu i pronašao je u ratu u sjevernoj Africi. Godine 1415. portugalske snage zauzele su grad Ceuta na najsjevernijem kraju današnjeg Maroka, a princ Henrik istakao se u tom napadu.

Kao rezultat toga, princa Henrika privukla je Afrika pa je počeo sanjariti o plovidbi oko nje s namjerom da dopre do Indije. Nitko nije znao kako se daleko prema jugu prostire Afrika i je li je moguće oploviti, no postojalo je ono staro Herodotovo kazivanje o feničkom oplovljavanju, 2.000 godina prije toga. Moglo se pokušati.

Henrik je 1420. osnovao centar za plovidbu u Sagresu na krajnjem jugozapadnom dijelu Portugala. Centar je postao stjecištem iskusnih moreplovaca, mjesto gdje su se brodovi gradili prema novim zamislima, gdje su se nova pomoćna sredstva za navigaciju smišljala i iskušavala, gdje su se unajmljivale i osposobljavale posade i gdje su se brižljivo opremale ekspedicije. Henrik nikad nije sam pošao na more, no njegovo neumorno pokroviteljstvo i poticaji donijeli su mu ime Henrik Pomorac pod kojim je poznat širom svijeta.

Godinu za godinom, princ Henrik odašiljao je brodove na plovidbu niz atlantsku obalu Afrike, od kojih je svaki nastojao prodrijeti dalje od prethodnoga. Do vremena Henrikove smrti 1460. portugalski su pomorci doprli do rijeke Gambije, slijedeći liniju afričke obale, općenito prema jugozapadu, oko 3.000 kilometara. Bilo je to sjajno postignuće, no ipak je predstavljalo tek jednu petinu udaljenosti do Indije (iako se to tada još nije moglo znati).

Čini se da su Portugalci do 1470. oplovili okruglu izbočinu Afrike i dospjeli do dijela obale koji je skretao prema istoku. S velikim uzbuđenjem, moreplovci su napredovali preskačući svaki napor svojih prethodnika i do 1472. našli su se 3.000 kilometara dalje na istoku nego što su bili na ušću rijeke Gambije. Činilo se da sve ide dobro — a tada je afrička obala ponovno skrenula prema jugu.

Projekt je propao poslije toga silnog razočaranja, no 1481. na portugalsko je prijestolje došao Ivan II, praunuk Henrika Pomorca, koji je projektu ulio nov život. Unutar godine dana njegova dolaska na vlast, portugalski pomorci krenuli su na istraživanje koje ih je odvelo 2.500 kilometara prema

jugu od mjesta gdje je afrička obala ponovno skretala na jug.

Ivan II okušao je sreću i organiziranjem ekspedicije kroz Sredozemlje i Crveno more 1487. godine. To se možda i neće pokazati praktičnom trgovinskom rutom, jer će se morati prolaziti islamskim teritorijem, ali moglo bi donijeti važne informacije.

Pod vodstvom Pedra de Covilhãoa (1450—1545), ekspedicija je prošla kroz Kairo i zatim nastavila do Adena na jugu Crvenoga mora. Tamo je Covilhão uzeo brod koji ga je odveo do Indije. Potom je odjedrio natrag do istočne obale Afrike koju je istražio na jugu sve do ušća rijeke Zambezi u današnjem Mozambiku.

Covilhão se smjestio u Etiopiji i poslao kompletan izvještaj. Prema proračunima, Afrika nije mogla biti šira od 2.400 kilometara kod najjužnijih točaka koje su Portugalci dosegli na istočnoj i zapadnoj obali. Na sjevernom je kraju bila široka 6.400 kilometara. Prema tome, moguće je da se sužava i da ta najjužnija točka nije još daleko prema jugu. Još jedan napor...

Taj je napor bio u toku. Iste godine kad je krenuo Covilhão, Ivan II poslao je Bartolomea Diasa (1450—1500) niz zapadnu obalu Afrike. On je otišao na jug dalje od svih pomoraca prije njega, a tada ga je zahvatila oluja koja ga je odbacila još južnije. Kad je oluja prošla, Dias se našao na otvorenom moru bez ikakva traga kopnu.

Pretpostavivši da afrička obala leži negdje na istoku, odjedrio je prema istoku ali nije pronašao ništa. Zatim se vratio na sjever i 3. veljače 1488. dospio do afričke obale koja je, na njegovo iznenađenje, imala smjer istok-zapad. Južni smjer negdje je sigurno završavao i obala je skretala prema istoku, a u oluji je promašio tu točku.

Plovio je prema istoku uz obalu koja je, poslije 4.090 kilometara, počela skretati prema sjeverozapadu. Dias je bio uvjeren da je prošao pokraj najjužnije točke kontinenta pa se okrenuo. Pronašao je mjesto gdje je linija obale naglo prekidala svoj smjer istok-zapad i pružala se u smjeru sjever-jug, mjesto koje mu je promaklo u oluji. Nazvao ga je Rtom oluja, no kad se vratio u Portugal i podnio izvještaj, Ivan II dao mu je novo, prikladnije ime, Rt Dobre nade.

No Ivan II koji je, više od ikoga drugog (osim Henrika Pomorca) bio srce i duša afričkoga projekta, nije poživio da

dočeka njegovo ispunjenje, jer je umro 1495. Uspio je njegov nećak, Manuel I.

Manuel I poslao je na put Vasca da Gamu (1469—1524) koji je napustio Lisabon 8. srpnja 1497, oplovio Rt Dobre nade i nastavio dalje sve dok nije stigao u Indiju, 19. svibnja 1498.

Tako uspostavljena veza nije se nikad izgubila. Portugalci su zaobišli islamski svijet. Bila je to mala zemlja sa samo 1,250.000 stanovnika, no imala je dvije ogromne prednosti kad je dospjela do napučenih i bogatih zemalja Azije. Ponajprije, imala je brodove koji su se po volji mogli kretati od mjesta do mjesta, i to tako da im pri tome njihovi suparnici vezani uz kopno nisu mogli ništa. Uspostavljanjem ključnih pomorskih baza, nekoliko je brodova i ljudi moglo kontrolirati golema područja obale.

Na drugome mjestu, Portugal je imao topove na tim brodovima, a njihovi protivnici nisu imali ništa što bi se s njima moglo usporediti. Barut su prvi otkrili Kinezi, no oni su ga upotrebljavali uglavnom za vatromete i za sprave koje su stvarale buku, zamišljene tako da zaplaše ljude i konje u borbi. Tajna baruta doprla je do Evrope u vrijeme kad je Mongolsko carstvo olakšalo veze istoka i zapada, i nije trebalo dugo da ratoborni kršćani izmisle top kojim će masakrirati ljude.

Tako je sićušni Portugal, a ne moćna Kina, postao prvom svjetskom silom i uspostavio je prvi prekomorski imperij.

NOVI SVIJET

Portugal nije dugo ostao jedinom svjetskom silom, a put oko južnoga vrha Afrike nije ostao jedinim zamislivim morskim putom do Indije.

Od vremena antičkih Grka, evropski učenjaci znali su da je Zemlja okrugla. Teorijski, prema tome, čovjek bi mogao krenuti na zapad iz Evrope i mogao bi ploviti otvorenim oceanom, sve dok ne bi dospio do istočne obale Azije.

Dakako, to je značilo jedriti ogromnim područjima otvorena mora daleko od ikakvog kopna, a to nikad nitko nije učinio. Čak se ni Portugalci, na svojim velikim istraživačkim putovanjima, nisu rado previše udaljavali od afričke obale.

Pa ipak, uz dobro poznavanje kompasa, nije postojala mogućnost da se čovjek izgubi. Uvijek se moglo vratiti.

U vezi s tim pojavilo se pitanje kako bi velika mogla biti Zemlja. Antički grčki zemljopisac Eratosthenes (276—196. pr. n. e.) procijenio je, oko 240. godine pr. n. e., da obujam Zemlje (u suvremenim mjerama) iznosi 40.000 kilometara. Imao je pravo, a to je značilo da udaljenost od zapadne obale Evrope prema zapadu do istočne obale Azije iznosi oko 25.000 kilometara. Nijedan brod sagrađen 1400-tih godina nikako ne bi mogao ponijeti dovoljno zaliha da bi se prešla ta širina otvorena mora.

No, kasniji grčki zemljopisci suglasili su se neispravno, oko manje brojke za obujam Zemlje, i mnogi zemljopisci iz 1400-tih godina držali su da obujam Zemlje nije veći od 29.000 kilometara sveukupno. Štoviše, Marco Polo je netočno smjestio istočnu obalu Azije dalje na istok nego što ona doista jest. Ako se pogreška Zemljine premale veličine dodala pogreški predaleko na istok smještene azijske obale, proizlazilo je da put na zapad iz Evrope ne bi iznosio više od 4.800 kilometara (manje od petine njegove stvarne dužine).

Uvjeren da je ta mala udaljenost točna, Christopher Columbo rođen u Genovi u Italiji 1451, koji je još kao mladić odlazio na more, sanjario je o tome da stigne u Aziju plovеći prema zapadu. Pokušao je tu ideju prodati portugalskom kralju Ivanu II, no Ivan II nije bio zainteresiran. On je vjerovao da bi putovanje prema zapadu bilo mnogo dulje od 4.800 kilometara i radije se držao afričkoga projekta.

U međuvremenu, narod Kastilije, istočno od Portugala, nestao je sa zemljopisne karte. Njegova kraljica Isabella udala se za Ferdinanda II Aragonskog, još dalje prema istoku, i dva su monarha vladala tako združenom nacijom, tada nazvanom Španjolskom. Uz to, 1492. godine Ferdinand i Isabella osvojili su Granadu, zadnje uporište muslimana koji su, sedam i pol stoljeća prije toga, pokorili cijelu Španjolsku.

U želji da pokažu novu moć Španjolske i ponešto zavidni zbog portugalskih uspjeha na moru, Ferdinand i Isabella odlučiše oprezno podržati Columba — barem toliko da mu daju tri mala i prilično nevrijedna broda i ponude posadu sastavljenu od kažnjenika koji su bili voljni dobrovoljno krenuti na to opasno putovanje što je bilo cijena za slobodu. Ukupni troškovi te ekspedicije, koja će se pokazati naj-

značajnijom u povijesti, procjenjuju se na negdje između 16.000 i 75.000 dolara, a to nije mnogo čak ni za ono doba.

Columbo je 3. kolovoza 1492, s posadom koja je ukupno brojila devedeset ljudi na sva tri broda, napustio Palos, luku na jugu Španjolske tek 50 kilometara istočno od portugalske granice.

Columbo je otplovio na Kanarske otoke koji su bili u španjolskim rukama, a zatim je, 6. rujna 1492, krenuo u nepoznato. Dobro je učinio pošavši najprije prema jugu, jer mu je to omogućilo da iskoristi pasatne vjetrove koji su ga nosili prema zapadu na njegovu putu. Da je bio pokušao prijelaz sjevernije, morao bi se suočiti sa zapadnim vjetrovima koji bi puhali u pogrešnom smjeru.

Nekoliko su tjedana Columbovi brodovi plovili mirno prema zapadu. Začudno, bilo je to potpuno mirno putovanje, najmirnije zapisano u povijesti. Za svih tih tjedana niti jedanput nije bilo oluje — što je doista bilo sreća, jer bi Columbove tri trupine vrlo vjerojatno potonule u pravoj oluji.

Cijelo to vrijeme nije bilo ničega do vjetra i valova, sve dok se 12. listopada 1492. nije začuo povik »Kopno«. Zemlja koju su ugledali bio je mali nastanjeni otok i Columbo, uvjeren da je stigao u Indiju, nazvao je njegove stanovnike Indijancima, pogrešnim imenom koje je ostalo do danas. Columbo je otok nazvao San Salvador (»Sveti Spasitelj«), no to je ime nestalo iz upotrebe, a identitet otoka, začudno, nije više izvjestan. Obično se poistovjećuje s jednim od Bahama, Watlingovim otokom nazvanim prema engleskom gusaru Johnu Watlingu.

I opet, zbog Columbova uvjerenja da su otoci koje je prve otkrio dio Indije, otoci uz američku obalu nazivaju se do današnjeg dana Zapadnom Indijom.

Columbo se vratio u Palos 13. ožujka 1493. i odjedanput je bio najslavniji čovjek u Evropi. Moreplovci svih vrsta, pod pokroviteljstvom raznih nacija, nagrnuli su preko Atlantika, no Španjolska je bila prva na poprištu te je postala drugom svjetskom silom.

Jedan od tih moreplovaca bio je Talijan koji se zvao Amerigo Vespucci (1451—1512). Latinizirani oblik njegova imena bijaše Americus Vespucius. Od 1497. nadalje vodio je ekspedicije koje su istraživale obalu kontinentalnog područja prema jugu od otoka što ih je otkrio Columbo.

Vespuciusu se nije činilo da bi novo kopno moglo biti azijska obala koju je opisao Marco Polo. Columbo je mislio da jest i zadržao je takvo stajalište do svoje smrti 1504, no Vespucci je tvrdio kako je Eratosthenes imao pravo, da od Evrope prema zapadu do Azije ima 25.000 kilometara, da je kopno što je otkriveno »Novi svijet« iza kojega leži još jedan ocean. Samo je nepredviđeno postojanje tih do tada nepoznatih kontinenata sačuvalo Columba od nestanka u besplodnu pokušaju da dopre do daleke Azije.

Vespuccijeva je gledišta prihvatio njemački zemljopisac Martin Waldseemüller (1470—1522). Waldseemüller je 1507. objavio zemljopisnu kartu na kojoj je novi kontinent bio prikazan samostalno, a ne kao dio bilo Evrope, bilo Afrike ili Azije. Predložio je da se nazove Amerika u čast Vespuccija koji je prvi shvatio da je to novi kontinent.

Ime je odmah postalo popularno i ubrzo se svuda upotrebljavalo. U početku se primjenjivalo samo na južni dio Novog svijeta, jer je sjeverni dio ipak još mogao biti pripojen Aziji. No kasnije se shvatilo da je i sjeverni dio odvojen. On je postao Sjevernom Amerikom, dok je južni dio postao Južna Amerika.

OKO SVIJETA

Pretpostaviti postojanje drugog oceana jedna je stvar, vidjeti ga posve druga. Taj se prizor ukazao prvi put španjolskom istraživaču Vascu Nuñezu de Balboi (1475—1517). On se bio naselio u današnjoj Panami i 1510. čuo je govorkanja o plemenima s mnogo zlata koja žive u unutrašnjosti. Odlučio je potražiti to zlato pa je 1. rujna 1513. stao na čelo grupe ljudi koja je krenula u unutrašnjost. U to vrijeme nijedan Evropljanin nije znao koliko je uska Panama. Dvadeset i petoga rujna uspeli su se na posljednji brežuljak i našli se kako zure u bezgranično prostranstvo nečega što je djelovalo kao ocean. Balboa ga je nazvao Južnim morem, jer je na tome mjestu ležao prema jugu u odnosu na morsku obalu.

Balboaovo otkriće podržalo je Vespuccijevu ideju da se prava Azija nalazi daleko na zapadu.

Tako je rezonirao i jedan portugalski moreplovac, Ferdinand Magellan (1480—1521). On je bio ranjen u jednome

portugalskom ratu protiv Marokanaca u sjevernoj Africi, no nepravedno je optužen da je trgovao s Marokancima pa mu je uskraćena mirovina. Raspaljen osjećajem nepravde, ponudio je tada svoje usluge Španjolcima.

Papa je zemlje stečene putovanjima na istok dodijelio Portugalcima, a zemlje stečene putovanjima na zapad Španjolcima. Magellan je istakao da bi Španjolska, kad bi nastavila putovati na zapad mimo Amerikâ, stigla do Azije ne putujući uopće prema istoku te da bi mogla trgovati s Indijom a da pri tome ne bi prekršila slovo papina naloga.

Novi španjolski kralj bio je Karlo I, sin Ferdinanda i Isabele (koji će uskoro postati poznatiji kao Karlo V, car Svetoga rimskog carstva). Karlo V pristao je biti pokroviteljem toga putovanja i Magellan je sa pet brodova napustio Španjolsku u kolovozu 1519.

Magellan je otplovio do istočne izbočine Južne Amerike (suvremeni Brazil) koja je tada bila portugalski posjed, a potom je nastavio prema jugu niz kontinent tražeći neki morski prolaz kojim bi njegovi brodovi mogli prijeći preko kontinenta u drugi ocean. Ekspedicija je, malodušna, morala putovati daleko na jug sve dok, 21. listopada 1520, nije spazila prolaz koji se i do današnjega dana zove Magellanov prolaz.

Trideset i osam dana pet se brodova probijalo po groznom vremenu kroz 525 kilometara dugačak prolaz. Svih je pet brodova preživjelo, a 28. studenoga isplovili su u miran i sunčan ocean što ga je Magellan, iz zahvalnosti, nazvao Pacifičkim oceanom.

Najgore je, međutim, bilo pred njima. Pacifik je bio onako velik kao što se moglo očekivati prema Eratosthenesovu određenju Zemljina opsega, no teškoća je bila u tome što je isto tako bio u velikoj mjeri bez kopna. Mala je flota putovala dalje devedeset i devet dana bez ikakva kopna na vidiku. Zalihe hrane su se istrošile i posada je morala griskati kožu i miješati piljevinu sa svojim obrocima kako bi imala što žvakati, sve dok 6. ožujka 1521, zamalo mrtvi, ne stigoše do otoka Guam. Tamo su predahnuli i odjedrili prema zapadu do otočja koje je kasnije postalo poznato kao Filipini. Tamo je, 27. travnja 1521, Magellan umro u jednom okršaju s domorocima.

Ono što je ostalo od ekspedicije uspjelo je umaći s Filipina u dva preostala broda i stići do indonezijskih otoka na kojima su već bili Portugalci.

Od ta dva broda, jedan se pokušao vratiti preko Pacifika i nije uspio. Zadnji brod, *Pobjeda*, s kapetanom Juanom Sebastianom del Canom (1460—1526) nastavio je prema zapadu, obišao Rt Dobre nade i vratio se u Španjolsku sa osamnaest ljudi na palubi, 9. rujna 1522.

Ako se gubitak života može ostaviti po strani, taj jedan preživjeli brod donio je dovoljno mirodija da cijelo putovanje bude vrlo probitačnim pothvatom.

Na *Pobjedi* su bila prva ljudska bića koja su oplovila Zemlju, a to je bilo ključno. To nije samo konačno dokazalo da je Eratosthenesova procjena veličine Zemlje bila točna, već je također pokazalo da Zemlja posjeduje jedinstveni ocean u kojem su kontinenti smješteni poput ogromnih otoka.

Više od toga, tim su se oplovljavanjem svijeta čovjekovi horizonti proširili, prvi put, do točke koja je uključivala cijelu Zemlju. Prvi su put ljudi mogli razmišljati o Zemlji globalno i mogli su spoznati relativne položaje kontinenata na njoj.

A budući da su Evropljani bili ti koji su imali brodove i topove i stručno poznavanje navigacije, Evropa je vladala svijetom četiri i pol stoljeća poslije putovanja Columba i da Game.

PACIFIČKI OCEAN

Poznavanje globusa kao cjeline daleko je od poznavanja svake pojedinosti toga globusa. Moreplovci koji su brodili oceanima sa sve većim samopouzdanjem 1500-tih i 1600-tih godina neprekidno su očekivali da će pronaći nove zemlje, kao što je učinio Columbo.

Nije bilo mnogo nade za spektakularna otkrivanja zemalja u relativno uskim granicama Atlantskog ili Indijskog oceana, ali Pacifički je ocean pružao više nade. Između Amerikâ i Azije leži ocean koji bi, da je prazan, imao 188,000.000 četvornih kilometara površine, jednu trećinu cijelog područja globusa.

Ako bi se isključio Pacifički ocean, ostatak globusa bili su kopno i voda u omjeru 3 prema 5. Ako je to vrijedilo i za Pacifički ocean, tada bi tamo moralo biti 70,000.000 četvornih kilometara kopna, a to bi područje, koncentrirano u jedinstveni kontinent, bilo gotovo tako veliko kao Azija i Afrika

zajedno. A čak ako je to bilo i precijenjeno, ipak bi tamo moralo biti nešto značajno.

Godine 1606. španjolski je moreplovac Luis Vaez de Torres oplovio veliki otok Novu Gvineju i pokazao da on, u najmanju ruku, nije dio nekakva južnopacifičkog kontinenta. Područje mora prema jugu od tog otoka i danas se njemu u čast naziva Torresovim prolazom.

Torres nije uspio vidjeti kopno prema jugu od Torresova prolaza, no bilo je izvještaja da takvo kopno postoji.

U 1600-tim godinama Portugal je počeo slabiti i poduzetni Nizozemci stadoše preuzimati indonezijske otoke. Nizozemski generalni guverner tih otoka, Anton Van Diemen (1593—1645) poslao je jednu istraživačku ekspediciju pod vodstvom Abela Janszoona Tasmana (1603—59) da ispita postojanje eventualnoga kopna južno od Nove Gvineje.

Tasman je krenuo iz Batavije (današnje Džakarte) 14. kolovoza 1542. sa dva broda i u toku deset mjeseci uspio je oploviti jedan prostrani otok veličine Sjedinjenih Država a da ga uopće nije vidio. No, otkrio je jedan manji otok prema jugoistoku koji je nazvao Van Diemenovom zemljom, no koji je kasnije nazvan Tasmanijom u njegovu čast. Otkrio je također južni otok Novog Zelanda i otočje Fidži. U drugoj je ekspediciji, 1644, spazio obalu velikog otoka koji mu je prije promakao, nazvavši ga Novom Nizozemskom. Nije, međutim, bio u stanju reći je li to bio jedan otok ili nekoliko, niti kako je velik.

Drugi moreplovci, francuski i engleski, plovili su Pacifikom ne otkrivši nikakvih kontinenata, a posao je napokon dovršio engleski pomorac James Cook, možda najveći istraživač mora u povijesti.

Cookova je prednost bila tehnologija. Do Cookova vremena nije se mogla određivati geografska dužina, jer nije bilo točnih satova. Nikakve dobre ure nisu postojale sve dok nizozemski fizičar Christian Huygens (1629—95) nije izumio uru s njihalicom 1656, no nijedan sat s njihalicom nije mogao točno pokazivati vrijeme na nemirnoj palubi broda. Godine 1713. britanski je parlament ponudio niz nagrada sve do 20.000 funti za sat koji će moći točno pokazivati vrijeme na brodu. Nagradu je dobio engleski izrađivač instrumenata John Harrison (1693—1776) koji je konstruirao svoj peti i najbolji sat 1765.

Osim toga, škotski liječnik James Lind (1716—94) otkrio je 1747. da plodovi citrusa sprečavaju skorbut, bolest koja je redovito onesposobljavala ljude na dugim oceanskim putovanjima, jer su tada bili ograničeni na jednoličnu hranu sastavljenu od mornarskog dvopeka i usoljenu svinjetinu. (Bolest je bila posljedica nedostatka vitamina C i prvi je put napala posade brodova tijekom putovanja Vasca da Game.)

Cook je, s kronometrima i plodovima citrusa, mogao uspješno pobjeđivati Pacifik, i učinio je to na tri putovanja. Na prvom putovanju, od 1768. do 1771, pomno je ubilježio u kartu sve obale dvaju otoka Novog Zelanda i cijelu istočnu obalu Nove Nizozemske, koja je kasnije nazvana Australijom i koja je, kako je uočio Cook, bila jedinstven otok dovoljno velik da se imenuje kontinentom.

Na drugom putovanju, od 1772. do 1775, jedrio je gore i dolje Južnim Pacifikom i oplovio svijet na najjužnijim geografskim širinama. Nije otkrio nikakvih većih kopnenih masa.

Na trećem putovanju, od 1776. do 1779, otplovio je u sjeverni Pacifik te pokazao da ni tamo nema velikih kopnenih masa. Nije preživio treće putovanje. Ubijen je 14. veljače 1779. u kratkoj bici s domorocima na Havajskim otocima na koje je stigao kao prvi Evropljanin.

Cookova su putovanja pokazala da, uz moguću iznimku polarnih područja koja su u svakom slučaju bila nenastanjena i, u uobičajenom smislu, nenastanjiva, ne postoje nikakve neotkrivene kopnene mase ma koje veličine. Australija je bila zadnji nastanjivi kontinent što ga se imalo otkriti pa bi se prema tome moglo nabasati na manje otoke ove ili one vrste, ali ništa više.

Bilo je jasno dokazano da je Pacifik doista jedan ogroman ocean, bez nekoga značajnog kopna, i da zauzima jednu trećinu područja Zemljine površine. Zahvaljujući njemu, ocean pokriva 70 posto Zemljine površine, a kopno samo preostalih 30 posto.

ARKTIČKA OBALA

Ako su polarne regije bile nenastanjene i nenastanjive, je li imalo ikakva smisla istraživati ih i proširivati čovjekov horizont u tom smjeru? Praktični ljudi možda su i mislili da nema, no okolnosti su ih odvele u tom smjeru.

Poslije Magellanova putovanja postojale su dvije morske rute do Indije. Postojao je Jugoistočni put kojeg je otvorio da Gama i koji je bio pod portugalskom kontrolom, i Jugozapadni put što ga je prokrčio Magellan i koji je bio pod španjolskom kontrolom.

Ostali evropski narodi, kao što su Engleska, Francuska i Nizozemska, željeli su trgovati i bilo im je stalo do pronalaženja novih morskih putova. Postojale su dvije mogućnosti: jedna bi zahtijevala kretanje uz sjeverne obale Evrope i Azije (Sjeveroistočni put), a druga kretanje uz sjevernu obalu Sjeverne Amerike (Sjeverozapadni put).

Engleski moreplovac sir Hugh Willoughby uputio se 1553. sa tri broda u izviđanje Sjeveroistočnog puta. Brodovi su oplovili sjeverni rub Skandinavije, kao što je Ottar učinio sedam stoljeća prije.

Willoughby je prešao polarni krug i potom su njegovi brodovi nastavili dalje oko 1.000 kilometara prema istoku, prije no što su zaključili kako je zimska sezona već suviše odmakla da bi se nastavilo. Vratiše se. Dva broda pod Willoughbyjevom komandom našla su luku na poluotoku Kola uz arktičku obalu, odmah na istok od Skandinavije. Bili su prisiljeni provesti tamo zimu i umrli su od hladnoće.

Treći brod, pod Richardom Chancellorom, bio je u oluji odvojen od ostala dva, srećom za se, i uspio se probiti uz rub poluotoka Kola u Bijelo more. Tamo je pronašao rusku luku Arhangelsk. Rusi su odveli Engleze kopnom do Moskve gdje ih je pozdravio ruski car, u to vrijeme Ivan IV (Grozni).

I Nizozemci su učinili jedan pokušaj. Nizozemski moreplovac Willem Barents napustio je Amsterdam 1594. sa dva broda i istraživao dio oceana sjeverno od Skandinavije i zapadne Rusije, dio koji se još u njegovu čast naziva Barentsovim morem. Otkrio je nekoliko otoka znatnije veličine, uključujući Novaju zemlju i Spitzbergue koje je Ottar možda bio zapazio sedam stoljeća prije, no koji su bili zaboravljeni.

Zimi 1956—97. Barents je, poput Willoughbyja prije njega, ostao zamrznut na mjestu, u svome utočištu na Novajoj zemlji. Bilo je šesnaest članova posade i »mali«. »Mali« je umro, a ni Barents nije preživio dolazak proljeća, ali preostala petnaestorica uspjela su se domoći sigurnosti, prvi Evropljani koji su preživjeli arktičku zimu tako daleko na sjeveru.

Zbog zle sreće Willoughbyja i Barentsa, Zapadni su Evropljani posumnjali da Sjeveroistočni put doista nije praktičan te su napori u tom smjeru prestali.

No, za Ruse u istočnoj Evropi to je bila druga stvar. Oni su mogli okušati sreću kopnom prema istoku, pa iako je to bilo teško, na putu ih je čekala nagrada u obliku krzna. S početka je upravo trgovina krznom mamila Ruse daleko na sjever, sve do Arhangelska.

Ruska obitelj Stroganovi koja se obogatila trgujući krznom, uzela je 1581. u službu kozaka Jermaka Timofijeviča da bi istraživao prema istoku. Jermak je pokorio jednu mongolsku kraljevinu istočno od Urala. Nazvana je Sibir i to je ime kasnije upotrijebljeno za cijelu sjevernu trećinu Azije.

Slijedili su i drugi trgovci krznom, a do 1648. kozak imenom Semjon Ivanovič Dežnjev prodro je do krajnjega istočnog dijela azijskog kontinenta. Za manje od sedamdeset godina Rusija je proširila svoju dominaciju tisuće kilometara prema istoku, kroz cijelu širinu Azije, stekavši zemlju koju drži i danas.

Taj je ruski pothvat pokazao da se sjeverne obale Rusije i Sibira nigdje ne spuštaju prema jugu, već da ostaju sjeverno od polarnog kruga mnoge tisuće kilometara. Ako je i bilo dvojbe da Sjeveroistočni put nije praktičan, ta je dvojba bila uklonjena.

No što je sa Sjeverozapadnim putom? Većina istraživanja što su slijedila Columbovo prvo putovanje bila je prema jugu — do Floride i dalje. Bilo je, međutim, iznimaka.

Talijanski moreplovac John Cabot (1450—98) kojeg je plaćala Engleska, dotakao je Newfoundland 1497. Portugalski moreplovac Gaspar Corte Real (1450—1501) zapazio je obalu sjeverno od Newfoundlanda 1501. i dao joj portugalsko ime Labrador koje i danas nosi. (Ta riječ znači »robovi« i nastala je zato što je Corte Real pokupio nekoliko tamošnjih stanovnika i odveo ih kao robove.)

Ta su viđenja, međutim, ispunila vrlo malo na zemljopisnoj karti. Drugdje je moglo postojati zamalo sve, gotovo bi se svaka nada mogla ispuniti.

Prvi sistematski pokušaj da se pronađe Sjeverozapadni put učinili su Francuzi. Godine 1524. otpremili su ekspediciju pod talijanskim moreplovcem Giovannijem da Verrazanom (1485—1528). On je istraživao istočnu obalu Sjeverne Amerike od područja pod Španjolskom kontrolom na jugu do sjever-

nog poluotoka koji se danas zove Nova Scotia. Ispitao je sve veće uvale, ne bi li se slučajno pokazale prolazima koji vode do Pacifika. On je, primjerice, bio prvi Evropljanin koji je ušao u današnji Newyorški zaljev.

Verrazanov pothvat jasno je pokazao da je beznadno tražiti Sjeverozapadni put južno od Nove Scotije.

Jedan francuski moreplovac, Jacques Cartier (1491—1557), došao je na zapad 1534. i pronašao otvor dosta sjevernije od Nove Scotije. Nalazi se između Newfoundlanda i Labradora i danas se naziva Prolaz Belle Isle. Prošao je kroza nj do nečega što se doimalo kao široka uvala oceana. Budući da je ušao u nj 10. kolovoza, na dan koji je posvećen sv. Lawrenceu, on se danas naziva Zaljev Sv. Lawrencea. Pokazalo se da je to ušće rijeke Sv. Lawrencea i da ne vodi u Pacifik.

Ako je Sjeverozapadni put uopće postojao, Cartierova ekspedicija pokazala je da bi morao biti dalje na sjever od Labradora. S obzirom na studenu labradorsku klimu, to je značilo da bi Sjeverozapadni put uključivao, poput Sjeveroistočnog puta, arktičke vode. Pa ipak, možda je postojao samo kratki odsjek kroz Arktik a zatim skretanje prema jugu u blaža mora. Zbog te je mogućnosti vrijedilo potražiti.

Engleski moreplovac Martin Frobisher (1535—94) otplovio je 1576. u Sjevernu Ameriku sa tri broda i trideset i pet ljudi. Jedan od brodova, sa osamnaest ljudi, stigao je na Labrador. Sam je Frobisher pošao prema sjeveru s druga dva broda i dotakao veliki otok danas poznat kao otok Baffin, no nije spazio ništa što bi davalo nade kao početak Sjeverozapadnog puta. Na jednom kasnijem putovanju, 1578, Frobisher je letimično zapazio južni vrh Grenlanda gdje je, stoljeće i pol prije, prestala postojati vikinška kolonija. Ovako ponovno otkriven, Grenland je ušao u svijest evropskog učenjaštva i plovidbe i ostao tamo.

Idući značajni pokušaj učinio je engleski navigator Henry Hudson koji je 1610, sa jednim brodom i posadom od devetnaest ljudi, pronašao vodeni prolaz (danas Hudsonov prolaz) između otoka Baffin i Labradora. Prošao je kroza nj i ušao u veliki vodeni prostor koji se pružao daleko prema jugu, ali to uopće nije bio Sjeverozapadni put. Bio je to kopnom okruženi vodeni masiv što se danas zove Hudsonov zaljev.

Hudsonov je brod bio zamrznut šest mjeseci tijekom zime 1610—11. u najjužnijem području zaljeva, danas poznatom kao Jamesov zaljev (prema engleskom kralju Jamesu I).

Kad je led popustio, on je želio nastaviti istraživanje, no njegovoj je posadi bilo dosta. Njega, njegova sina i sedam odanih članova posade prepustili su sudbini i vratili se u Englesku. Hudson i ostali umrli su od smrzavanja.

Engleski pomorac William Baffin (1584—1622) istraživao je 1615. vodeni put između otoka Baffin (nazvanog po njemu) i Grenlanda, vodeni put što se danas zove Baffinov zaljev. Pošao je njime do otokâ koji su ležali sjeverno od Baffinova otoka i zavirio u uske prolaze koji su ih razdvajali. Smatrao je da to nisu praktični vodeni putovi pa se vratio.

Nakon toga je zaključeno da je Sjeverozapadni put jednako nepraktičan kao i Sjeveroistočni put.

Ali do tada to doista više nije bilo važno. Španjolska i Portugal oslabili su toliko da više nisu mogli monopolizirati morske rute. Svaka je nacija sada mogla slobodno ploviti oceanom i zapravo su Engleska i Nizozemska među njima obavljale najveći dio svjetske pomorske trgovine.

3

Unutrašnjost i polovi

UNUTRAŠNJOST SJEVERNE AMERIKE

Traganjima za Sjeveroistočnim i Sjeverozapadnim putovima te istraživanjima Pacifičkog oceana kapetana Cooka završila su velika pomorska istraživačka putovanja. Ocean i kontinentalne obale bili su poznati. No, što je s unutrašnjošću kontinenata?

Uostalom, bilo je teže putovati kopnom nego morem, i na kopnu je moglo biti neprijateljskih stanovnika (obično ih je zapravo i bilo), dok na moru nije bilo nikoga. Moglo se stoga zamalo posumnjati da će se istraživači zadovoljiti obalama i okaniti se unutrašnjosti.

Nije bilo tako. Istraživanja unutrašnjosti kontinenata, u nekim slučajevima, slijedila su intenzivno pristajanje uz obale. Jedan mamac koji je odvlačio prve istraživače dalje, unatoč riziku i oskudicama, bila je nada da će pronaći civilizacije kojih bi se bogatstvo moglo opljačkati, ili ljudska bića, civilizirana ili ne, koja bi se mogla pretvoriti u robove. Taj je cilj bio sve zamamljiviji, jer je bilo prethodnih slučajeva kad je uspio izvan očekivanja.

Juan Ponce de Léon (1460—1521) koji se bavio robljem, u Portoriku, otplovio je na sjeverozapad 13. ožujka 1513. u potrazi za još više robova. Stigao je do jednog dijela sjevernoameričkog kontinenta za vrijeme Uskrsa i nazvao ga Florida (»cvjetan«) jer je djelovao zeleno i rascvjetano. No, nije mnogo postigao u smislu trgovine robljem.

U svome mračnom poslu eksploatacije i uništenja sretniji je bio Hernando Cortés (1485—1547) koji je u veljači 1519. odjedrio iz Kube u Meksiko sa jedanaest brodova na kojima je bilo 700 vojnika. U Meksiku je pronašao civilizaciju Azteka s glavnim gradom Tenochtitlánom (na mjestu kojega je danas Mexico City). Cortés je imao malo ljudi, a suočio se sa tisućama snažnih i hrabrih boraca. Međutim, Cortés je imao konje i topove koje Azteki nisu nikad vidjeli. Štoviše, Azteki nisu bili ujedinjeni i njihov je otpor oslabilo prvobitno uvjerenje da su Španjolci bogovi.

Pod tim okolnostima, Španjolci su otkrili da mogu uništiti aztečku civilizaciju, podjarmiti Indijance i uzeti njihovo zlato i sve drugo vrijedno što su posjedovali. U ono vrijeme nije bilo grižnje savjesti zbog takvih stvari, osobito stoga što su Španjolci imali lagodan osjećaj da nekršćani nemaju nikakvih prava koja bi kršćani morali poštivati.

U sljedećim godinama, Cortés i drugi istraživali su kopno, tražeći još zlata. Sam je Cortés prvi ugledao poluotok koji danas zovemo Baja (Donja) California i masu vode (Kalifornijski zaljev) koji ga odvaja od samog Meksika.

Cortésov uspjeh u Meksiku doveo je do naleta istraživanja dalje prema sjeveru u stalnoj potrazi za zlatom. Pánfilo de Narváez (1480—1528) istraživao je sjeverne obale Meksičkog zaljeva sjeverno od Floride i zatim je krenuo u unutrašnjost. Nije pronašao zlato i morao se boriti da bi se vratio na obalu. Tamo je sagradio pet brodova i pokušao prijeći Meksički zaljev, ali nestao je u oluji.

Nije, međutim, bila izgubljena cijela družina. Neki su, pod vodstvom Alvara Nuñeza Cabeza de Vaca (1490—1557), dospjeli kao brodolomci u današnji Teksas. Cabeza de Vaca bio je indijanski zarobljenik šest godina, no napokon je umakao i probio se do Mexico Cityja 1536.

Vrativši se, Cabeza de Vaca pričao je slikovite priče o svojim pustolovinama, opisujući nepregledna krda bizona i prodajući glasine o velikome bogatstvu negdje na sjeveru.

To se činilo utoliko uvjerljivijim što je druga američka civilizacija, ona Inka u Peruu, opljačkana i uništena samo nekoliko godina prije. Francisco Pizarro (1470—1541) stigao je u Peru 1531. i za dvije je godine ponovio Cortésov pothvat.

Hernando de Soto (1500—42) koji je bio drugi po rangu pod Pizarrom, žudio je za tim da povede jednu ekspediciju prema sjeveru od Floride kako bi tamo pronašao još jedan zlatni Peru. Pristao je uz zapadnu obalu Floride 25. svibnja 1539. sa 500 ljudi i 200 konja te udario u unutrašnjost, putujući kroz današnji jugoistočni dio Sjedinjenih Država.

On i njegovi ljudi bili su prvi Evropljani koji su, 18. lipnja 1541, ugledali rijeku Mississippi, vjerojatno nekoliko milja južno od suvremenoga grada Memphisa u Tennesseeju. Ekspedicija je prešla rijeku, i dalje usmjerena prema zapadu, a zatim je skrenula na jug. Nisu pronašli nikakva zlata, no našli su zato mnogo neprijateljski raspoloženih Indijanaca. De Soto je 21. svibnja 1542. umro od groznice, u trenutku kad su opet dospjeli do Mississippija. De Soto je sahranjen u rijeci, a preostali njegovi ljudi sagradili su čamce, spustili se niz rijeku i odjedrili natrag u Meksiko.

Gotovo istodobno, druga španjolska ekspedicija istraživala je današnji jugozapad Sjedinjenih Država, a predvodio ju je Francisco Vásquez de Coronado (1510—54). I on je slušao priče Cabeze de Vaca te su između 1540. i 1542. on i ljudi koje je vodio tumarali širom Teksasa i jugozapada. Oni su bili prvi Evropljani koji su vidjeli Grand Canyon, no ni oni nisu pronašli zlato.

Engleski doseljenici koji su naselili Virginiju i Novu Englesku na početku 1600-tih godina i nizozemski doseljenici koji su se smjestili tamo gdje je danas New York, istraživali su svaki svoja područja. Njihova su djela, međutim, nadmašili Francuzi koji su se, također u isto vrijeme, naselili duž rijeke Lawrence na području koje su nazvali Kanada.

Samuel de Champlain (1567—1635) osnovao je Quebec 1608, iduće godine otkrio jezero Champlain, a jednom kasnijom zgodom uputio se na pohod prema zapadu. Godine 1615. stigao je do Georgianskog zaljeva, istočnog odvojka jezera Huron. On je bio prvi Evropljanin koji je stigao do Velikih jezera.

Jean Nicolet (1598—1642), Champlainov sljedbenik, prešao je 1634. jezera Huron i Michigan i bio je prvi Evropljanin koji je dopro do današnjega američkog Srednjeg zapada. Slijedili su isusovački misionari, nakani preobratiti Indijance.

Jedan od njih, Jacques Marquette (1637—75), zajedno s traperom Louisom Jollietom (1645—1700), pošao je tragom Nicoletova izvješća o rijeci zapadno od Velikih jezera. Do Velikih se jezera, uostalom, moglo doći vodenim putom od Zaljeva Sv. Lawrencea. Ako rijeka o kojoj je riječ vodi do Pacifika, znači da bi mogao postojati vodeni put preko Sjeverne Amerike sa samo kratkim kopnenim prekidom između Velikih jezera i te rijeke.

Do rijeke, a pokazalo se da je to gornji dio Mississippija, stigli su 17. lipnja 1673, i pošli su njome nizvodno oko 1.100 kilometara, kad je već bilo jasno da ona teče prema Meksičkom zaljevu.

Robert Cavelier de La Salle (1643—87) pošao je Mississippijem do njegova ušća 1682. godine.

Tijekom 1730-ih i 1740-ih godina, Pierre Gaultier de La Vérendrye (1685—1749) probijao se prema zapadu od jezera Superior te stigao do jezera Winnipeg i Crnih planina Južne Dakote. Druga dva francuska istraživača, Pierre i Paul Mallet, doprli su do današnjeg Colorada i tek letimično ugledali Stjenjake.

Kao rezultat tih istraživanja, Francuska je svojatala cijelu dolinu Mississippija. Velika Britanija dobila je istočnu polovicu doline 1763, poslije francusko-indijanskog rata, koja je pripala Sjedinjenim Državama kad su stekle nezavisnost 1783. Zapadnu polovicu Sjedinjene su Države kupile 1803. godine.

U to vrijeme predsjednik Sjedinjenih Država bio je Thomas Jefferson (1743—1826) koji je nakanio istražiti to novostečeno područje. Zadatak je povjerio Meriwetheru Lewisu (1774—1809) i Williamu Clarku (1770—1838). »Lewisova i Clarkova ekspedicija« krenula je iz St. Louisa 14. svibnja 1804, slijedila uzvodno rijeku Missouri, prešla Stjenjake i ušla na »Teritorij Oregona« koji još nije kontrolirala nijedna nacija. Slijedili su zatim rijeku Columbiju do Pacifičkog oceana, kamo su dospjeli 15. studenoga 1805. Oni su prvi kopnom prešli današnje Sjedinjene Države, do Pacifičkog oceana i natrag.

No, taj je pothvat nadmašio Alexander Mackenzie (1755—1820). Škotski doseljenik u Kanadu, smjestio se u današnjoj Alberti te krenuo rijekom što se danas zove Mackenzie

do njezina ušća u Arktički ocean, godine 1789. Godine 1793. prešao je Stjenjake do Pacifičkog oceana na mjestu današnje Britanske Kolumbije.

UNUTRAŠNJOST JUŽNE AMERIKE I AUSTRALIJE

Španjolci, smjestivši se na sjevernim, zapadnim i jugoistočnim obalama Južne Amerike, i Portugalci, smjestivši se na sjeveroistočnim obalama, postupno su kretali prema unutrašnjosti u potrazi za zlatom, robovima, zemljom i za kršćanskim obraćenicima.

Jedno veliko istraživačko putovanje bilo je ono Francisca de Orellana (1490—1546) koji je bio s Pizarrovom gomilom što je pokorila Peru. Pizarro je organizirao jednu ekspediciju da istražuje zemlju istočno od dominiona Inka i Orellana, dospjevši do manjih pritoka jedne velike rijeke, držao je da će biti lakše poći dalje nego vratiti se preko planinskog lanca Anda što ga je već bio prešao putujući prema istoku.

Od travnja 1541. do kolovoza 1542. napredovao je niz rijeku koja je, eto slučajno, najveća na svijetu s obzirom na volumen vode. Njegov izvještaj spominjao je plemena koja su, kako se činilo Orellani, predvodile žene. To je ljude podsjetilo na Amazonke, žene-ratnike iz grčke legende, pa je rijeka nazvana Amazonom. Orellana je organizirao i drugu ekspediciju na Amazonu, no ta je bila katastrofalna. Brodovi su potonuli, a sam je Orellana umro blizu ušća rijeke koju je istraživao.

Usprkos Orellaninim istraživačkim putovanjima, Španjolska nije mogla dobiti pravo na dolinu Amazone. Portugalski naseljenici na brazilskoj obali, osobito iz regije São Paulo, napredovali su neumoljivo prema zapadu i napokon je polovica Južne Amerike, uključujući cijelo amazonsko područje, postala dio Brazila.

U Australiji, prva veća naselja stvorena su na jugoistočnoj obali, tamo gdje je danas Novi Južni Wales i gdje je osnovan grad Sydney 1788. Prvi doseljenici na to područje bili su osuđenici koji su tamo transportirani za kaznu — mnogi od njih bili su politički zatvorenici a ne kriminalci. Kasnije su slijedili dobrovoljni doseljenici.

Istraživanje unutrašnjosti započelo je s Williamom Charlesom Wentworthom (1793—1872) koji se 1813. probio kroz planinski lanac što leži 100 kilometara zapadno od Sydneja. Charles Sturt (1795—1869) otkrio je 1828. rijeku Darling (nazvanu po Ralphu Darlingu, generalnom guverneru Novog Južnog Walesa kojemu je Sturt bio sekretar). Pošao je njome do ušća.

Edward John Eyre (1815—1901) istraživao je pustinjska područja južne Australije početkom 1840-ih godina, no nije uspio doprijeti do središnjih regija kontinenta, kao što nije uspio ni Sturt.

Jedan od Sturtovih pratilaca na istraživanjima bio je John McDouall Stuart (1818—66). On je šest puta pokušavao doprijeti do središnjeg područja i 1860. je uspio. Tada, za svoga šestoga i zadnjeg putovanja, prošao je cijeli kontinent od juga do sjevera.

UNUTRAŠNJOST AFRIKE

Afrika je studija o kontrastima. Sjeveroistočni kut (Egipat) predstavlja jednu od dviju najranijih civilizacija na svijetu. Sjeverna Afrika općenito bila je integralni dio sredozemne kulture te je najprije bila dio Rimskog carstva, a potom islamskoga svijeta. Pa ipak, sve ono što leži južno od romanske sjeverne Afrike ostalo je nepoznato Evropljanima općenito sve do modernih vremena.

Za to je odgovorna pustinja Sahara. Njezin široki pojas neplodne pustoši bio je jednaka barijera evropskim istraživanjima kao što bi to bio neki veliki planinski lanac.

Od vremena Henrika Pomorca, morske obale Afrike postale su poznate — čak i prije od obala Amerikâ i Australije. Ipak, afrička unutrašnjost bila je posljednje nastanjivo područje koje će se dostatno istražiti. Njezina klima, njezine opasne životinje (bili to veliki sisavci ili mali insekti) i njezino neprijateljsko stanovništvo, sve se to udružilo i stvorilo od Afrike »crni kontinent«.

Ključ za afričku unutrašnjost bile su, dakako, velike rijeke. Postoji, primjerice, rijeka Niger koja utječe u Gvinejski zaljev na južnoj obali zapadnog roga Afrike. Više od tri stoljeća nakon što je njezino ušće bilo dobro poznato, njezin je unutrašnji tok ostao obavijen misterijem.

Prvi Evropljanin koji je istraživao Niger bio je Mungo Park (1771—1806). Između 1795. i 1797. plovio je uz rijeku Gambiju na zapadnoj obali zapadnoga roga, zatim se probio kopnom do toka gornjeg Nigera u današnjem Maliju. Potom se spustio Nigerom, dijelom rijekom a dijelom kopnom. Tijekom svega toga, na jednom su ga mjestu Arapi držali zarobljenim četiri mjeseca te je na kraju zamalo umro od groznice. Drugi pokušaj, 1805, da završi rutu svoga istraživanja, završio je katastrofom. Parkovu družinu napali su Afrikanci u današnjoj Nigeriji i Park se utopio.

Druga istraživačka grupa, predvođena Škotlanđaninom Hughom Clappertonom (1788—1827), doprla je do sjeverne Nigerije kopnom. Ekspedicija je krenula iz Tripolija na Sredozemlju 1822. i probijala se prema jugu Saharom. Crnci i Arapi često su se upuštali u takve pothvate trgovačkim karavanama, no tada su to prvi put učinili suvremeni Evropljani.

Početkom 1823, članovi Clappertonove skupine bili su prvi Evropljani koji su vidjeli jezero Čad, u sjeveroistočnom kutu Nigerije. Oko tog su jezera u prošlim vremenima postojala crnačka carstva koja su sva ostala nepoznata evropskim povjesničarima. Sjeverna je Nigerija bila istražena pa se Clapperton vratio sa svojom pričom. No i on je, poput Parka, sudjelovao u drugoj ekspediciji u Nigeriju i tamo je umro.

Clappertonov sudrug Richard Lemon Lander (1804—34) nastavio je rad i do 1831. potpuno je ucrtao u kartu tok Nigera. I on je tamo umro u toku druge ekspedicije.

Prvi Evropljanin koji je posjetio Tombouctou (Timbuktu), gotovo legendarni crnački trgovinski centar i carski grad središnjeg Nigera (no danas uglavnom propao) bio je škotski istraživač Alexander Gordon Laing (1793—1826) koji je onamo stigao 18. kolovoza 1826, nakon što je bio ranjen u jednom okršaju. Ubijen je dva dana nakon što je napustio grad.

Sretniji je bio jedan francuski istraživač, René August Caillié (1799—1838) koji je stigao u Tombouctou 20. travnja 1828. Učino je to proučavajući islam i učeći arapski tako da se mogao prerušiti u Arapa i pridružiti karavani koja je putovala iz Egipta u taj grad, a zatim drugoj koja je krenula iz grada u Maroko. To je sadržavalo brojne teškoće, uključujući i pet mjeseci bolesti.

Tijekom idućih pol stoljeća, brojni istraživači izrađivali su geografske pojedinosti zapadne Afrike.

Najzagonetniji misterij afričkoga kontinenta bilo je pitanje izvora Nila. Stari Egipćani putovali su uzvodno čak 2.500 kilometara za svoga uspješnog imperijalnog vrhunca, no nisu pronašli nikakva znaka njegovu kraju.

Prvi Evropljanin koji je krenuo uz Nil bio je engleski putnik Richard Pococke (1704—65). On se probio uzvodno do današnjeg Asuana u južnom Egiptu potkraj 1730-ih godina. Škotski istraživač James Bruce (1730—94) došao je 1770. uzvodno Nilom do Kartuma u Sudanu. Tamo se spajaju dvije rijeke pa je on krenuo uz onu koja je dolazila s istoka i koja se danas naziva Plavi Nil.

To ga je odvelo do današnje zapadne Etiopije. Pronašao je izvor Plavog Nila u jezeru Tana i držao da je problem riješen. Nije, međutim, imao pravo. Zapadni Bijeli Nil, onaj odvojak kojim nije pošao, bio je glavni tok, a njegov je izvor još bio tajna.

Arapski trgovci robljem donosili su priče o velikim jezerima u istočnoj Africi, i nekim se evropskim istraživačima činilo da bi to lako mogao biti izvor Bijelog Nila (pod pretpostavkom da jezera doista postoje).

Richard Francis Burton (1821—90) koji je kasnije stekao najveću slavu kao prevodilac *Tisuću i jedne noći*, i John Hanning Speke (1827—64) inicirali su takva istraživanja.

Burton je, poput Caillića, učio arapski i uspio je (prerušen) posjetiti islamski sveti grad Meku 1853. On je bio prvi Evropljanin koji je prokrijumčario van skice i mjere središnjeg svetišta Ka'abaha. Zatim je 1854. otišao u istočnu Afriku i (opet prerušen) ušao u sveti etiopski grad Harar. Bio je prvi Evropljanin koji je, ušavši u nj, sretno i izašao.

On i Speke, u drugom pokušaju da pronađu izvor Nila, krenuli su 1857. iz Zanzibara na istočnoafričkoj obali, prešli današnju Tanzaniju i u veljači 1858. stigli do jezera Tanganjika, dugoga uskog jezera na zapadnoj granici Tanzanije, 1.000 kilometara prema unutrašnjosti od afričke istočne obale.

Speke i Burton na tom su mjestu zametnuli prepirku. Speke je držao da bi se izvor Nila mogao otkriti ako bi se potražila druga jezera. Burton je bio drugog mišljenja pa su se razdvojili. Speke je pošao prema sjeveru i 30. srpnja 1858. stigao je do najvećeg jezera u Africi koje je nazvao jezerom

Victoria. Smatrao je da bi to mogao biti izvor Nila i za jedne je kasnije ekspedicije, 28. srpnja 1862, našao mjesto izviranja Nila iz jezera. Računajući od pritoka najduže rječice koja utječe u jezero Victoria, proizlazi da je rijeka Nil duga 6.738 kilometeara, najduža na svijetu.

Afrički istraživač koji je najsnažnije ušao u svijest javnosti bio je škotski misionar imenom David Livingstone (1813—73). On je stigao do Cape Towna 1841. i probijao se prema sjeveru u pokušaju da preobrati crnce. (Borio se također za doličan postupak bijelih doseljenika prema njima.) Stigao je dalje na sjever od ijednog Evropljana prije njega i prvi je istraživao pustinju Kalahari u današnjoj Bocvani.

Livingstone je nakanio prodrijeti duboko u Afriku i otvoriti taj kontinent civilizaciji i trgovini, umjesto da bude prepušten specijaliziranim interesima trgovaca robljem. To je značilo da se neće morati suočiti samo s prirodnim opasnostima afričkoga okoliša, već i s trajnim neprijateljstvom Bura i Portugalaca. Tijekom 1855. i 1856. lutao je Afrikom daleko na sjever od Kalaharija doprijevši do Luande na sjevernoj angolskoj obali, a zatim prema istoku do rijeke Zambezi i Indijskog oceana. On je bio prvi Evropljanin koji je prešao Afriku kopnom u smjeru istok-zapad, iako je to učinio na jugu gdje širina nije ni 3.000 kilometara. Na toku Zambezija otkrio je slapove dvostruko veće od Niagare i nazvao ih Victorijinim slapovima.

Za druge ekspedicije u Afriku, od 1858. do 1864, istraživao je područje rijeke Zambezi uz znatne teškoće. U trećoj ekspediciji, od 1866. do 1873, brzo se probijao jezerskom zemljom i 29. ožujka 1871. stigao je do gornjeg toka rijeke Kongo, 375 kilometara zapadno od jezera Tanganjika.

Do tada ga je, međutim, Evropa izgubila iz vida, a bio je toliko slavan da je nastala velika zabrinutost zbog mogućnosti da je mrtav.

New York Herald, iz reklamnih razloga, poslao je u Afriku jednoga od svojih reportera, velšanina po rođenju Henryja Mortona Stanleyja (1841—1904), u potragu za Livingstoneom. Stanley se iskrcao u Zanzibaru 6. siječnja 1871. i uputio u unutrašnjost s dobro opremljenom karavanom. Pronašao je Livingstonea u Ujijiu na zapadnoj obali jezera Tanganjika, 1.100 kilometara zapadno od Zanzibara, i pozdravio ga korektnom engleskom uljudnošću, »Dr Livingstone, re-

kao bih?« iako, kao jedini Evropljanin unutar tisuću kilometara, nije mogao biti nitko drugi.

Stanley je donio potrebne lijekove i zalihe, no Livingstone je umro godinu i pol kasnije, a Stanley je preuzeo zadaću istraživanja.

Godine 1876. bio je u zemlji jezerâ i oplovio je jezero Victoria. Pošao je dalje do najzapadnije točke koju je dosegao Livingstone te krenuo niz rijeku do Atlantskog oceana, ubilježivši tako u kartu tok rijeke Kongo.

U svojoj zadnjoj ekspediciji razjasnio je preostale neizvjesnosti oko jezerske regije te, 1889. godine, otkrio planinski lanac Ruwenzori na granici između Ugande i Zaira, s jezerom Albert na jednoj i jezerom Edward na drugoj strani.

ISTOČNI ARKTIK

Do 1880. godine, unutrašnjosti svih kontinenata koji leže u tropskoj i umjerenim zonama — čak i Afrike — bile su u grubim crtama na dostatan način obrađene. Preostale su samo pojedinosti.

Jedine važnije regije Zemlje koje su u znatnom opsegu bile nepoznate ostale su polarne regije. Tamo su poteškoće istraživanja bile još i veće nego u unutrašnjosti Afrike.

Dakako, motivi za istraživanje polarnih regija bili su po prirodi drukčiji od onih koji su poticali na istraživanja ostatka Zemljine površine. U polarnim regijama nije bilo civilizacija koje bi se pronalazile, nikakvih resursa ma kakve vrijednosti. Nakon što je napuštena svaka nada u postojanje nekoga praktičnog sjeveroistočnog ili sjeverozapadnog puta, nije postojala čak ni mogućnost da one odigraju značajnu ulogu kao komercijalna ruta.

Pa ipak, nešto je novo priteklo u pomoć, ponovno izbijanje nečega vrlo starog. Nije to bilo ništa drugo do ljudska znatiželja, želja da se zna ni iz kojeg drugog razloga osim radi znanja.

Prvoj arktičkoj ekspediciji s isključivom namjerom da se proširi znanje bila je pokroviteljem Rusija. Ta se nacija proširila cijelim Sibirom i njezina je vlast dosezala na sjever do ledom prekrivenih pustoši. Rusija je željela saznati kakav je opseg njezinih područja. Postojalo je, osobito, pitanje je li Azija na svojoj krajnjoj istočnoj točki povezana sa Sjever-

nom Amerikom kopnenim mostom. Dežnjev, koji je dopro do te krajnje istočne točke, bio je rekao da ne postoji nikakav kopneni most, no je li imao pravo?

Ruski car Petar Veliki, u zadnjoj godini svoga života, povjerio je taj zadatak jednome danskom pomorcu u ruskoj službi, Vitusu Jonassenu Beringu (1681—1741). Godine 1724. Bering je putovao kopnom 8.000 kilometara, od ruske prijestolnice Petrograda na Baltičkome moru do Kamčatke, velikog poluotoka koji strši prema jugu od dalekog istočnog dijela Sibira. Tamo je sagradio brodove i počeo istraživati more, slijedeći obalu Kamčatke prema sjeveru i dospjevši do istočnog vrha Sibira. Otkrio je kako je Dežnjev imao pravo te kako se između Azije i Sjeverne Amerike nalazi voda, vodeni prolaz što se danas naziva Beringov prolaz.

U kasnijim je ekspedicijama Bering unio u karte dijelove sibirske sjeverne obale te je uz to istražio more južno od Beringova prolaza, vodeni prostor danas poznat kao Beringovo more. Otkrio je Aleutske otoke koji se u velikom luku svijaju preko južne granice Beringovog mora.

Bering se također iskrcao na sjevernoameričkom kontinentu 1741. i bio je prvi Evropljanin koji je stigao u današnju Aljasku. Na temelju Beringovih otkrića, Rusija je položila pravo i okupirala Aleutske otoke i Aljasku, zadržavši ih sve dok ih nije prodala Sjedinjenim Državama 1867. Tijekom razdoblja svoje okupacije Rusi su istraživali Aljasku, doprijevši do Rta Barrow, najsjevernije točke Aljaske. Rt Barrow je, na 71,26 stupnjeva sjeverne geografske širine, tek nešto malo sjevernije od Sjevernog rta, najsjevernije točke Evrope koja se nalazi na 71,17 stupnjeva sjeverne geografske širine.

Rusi su istraživali i prema jugu, sve do mjesta San Francisca do kojeg su Španjolci doprli s juga, i tako su te dvije nacije međusobno završile zemljopisnu kartu zapadne obale Amerikâ.

I drugi su, osim Beringa, istraživali sibirsku obalu. Pod vodstvom S. Čeljuskina, jednoj je ruskoj ekspediciji napokon uspjelo, 1743, obići poluotok Tajmir koji strši prema sjeveru iz središta sibirske obale i okružen je ledom cijele godine. Brodovi nisu mogli kroz led oploviti Tajmir, no Čeljuskin ga je obišao saonicama. Najsjevernija točka tog poluotoka nazvana je Rt Čeljuskin u njegovu čast.

Rt Čeljuskin nalazi se na 77,75 stupnjeva sjeverne širine te je znatno dalje na sjeveru i od Rta Barrow na Aljasci i od Sjevernog rta u Evropi. Nalazi se samo 900 kilometara južno od Sjevernog pola i najsjeverniji je dio kontinentalnog područja na svijetu.

Do tada se činilo razložnim pretpostaviti da se nijedan kontinent ne proteže do pola, no dalje na sjeveru moglo je biti otoka. Ostalo je stoga mogućim da je Sjeverni pol smješten na kopnu.

Neki su otoci doista otkriveni sjeverno od sibirske obale tijekom stoljeća i pol koje je slijedilo Čeljuskinov pothvat. Od njih, najsjeverniji komadić kopna je Rudolfov otok u Arktičkom oceanu, 1.960 kilometara sjeverno od Arhangelska. On se nalazi oko 75 kilometara sjevernije od najsjevernije obale otoka Spitzbergen i samo je 550 kilometara udaljen od Sjevernog pola.

Rudolfov otok dio je grupe otoka koju su otkrili austrijski istraživači Julius von Payer (1842—1915) i Karl Weyprecht (1838—81) godine 1873. Nazvali su te otoke Zemlja Franje Josipa prema austrijskome caru. Ta grupa obuhvaća najsjevernije dijelove kopna na istočnoj polutki iako, naravno, 1873. nitko u to nije mogao biti posve siguran.

ZAPADNI ARKTIK

Postojala je mogućnost da se kopno proteže dalje prema sjeveru na zapadnoj polutki nego na istočnoj. Otoci koji čine veliki arhipelag sjeverno od Kanade i, iznad svega, divovski otok Grenland davali su nade u tom pogledu.

Britanska vlada koja je upravljala Kanadom željela je upoznati pojedinosti svojih arktičkih područja. Dva istraživača, John Ross (1777—1856) i William Edward Parry (1790—1855), zajedno i pojedinačno, vodili su ekspedicije koje su odvodile njihove putove među otoke Kanadskog arhipelaga. Oni su do 1833. zapazili gotovo sve glavne otoke, ali nisu dokraja prošli kroz arhipelag niti ušli u ledom zagušeno more koje bi ih odvelo do Beringovog prolaza i Azije.

Ross je 1833. istraživao obale zaljeva Boothia (nazvanog po Felixu Boothu, trgovcu žestokim pićima koji je financirao tu ekspediciju). Zapadna obala bio je poluotok Boothia koji, kako se pokazalo, predstavlja najsjeverniji doseg Sje-

verne Amerike. Njegova krajnja točka (koju je 1847. otkrio škotski istraživač John Rae, 1813—93), nalazi se na 71,74 stupnja sjeverne širine, oko 60 kilometara sjevernije od Rta Barrow, no to je 265 kilometara manje od položaja Rta Čeljuskin.

Idući je pokušaj učinio engleski istraživač John Franklin (1786—1847). Istražujući najprije kopnom, ucrtao je na kartu gotovo cijelu arktičku obalu Kanade između 1820. i 1825. Godine 1845. prihvatio se tog zadatka s mora. Na njegovoj je strani bila tehnologija. Imao je parobrode a ne jedrenjake, a kabine su imale centralno grijanje. Međutim, on, njegovi ljudi i brodovi nestali su u toku istraživanja.

Druge su ekspedicije odlazile u potragu za njima — četrdeset ekspedicija u četrnaest godina. Ostaci ekspedicije otkriveni su 1853. Tijekom tih potraga, preostali dijelovi Kanadskog arhipelaga stavljeni su na svoje mjesto.

Za vrijeme potrage, britanski pomorski oficir Robert John McClure prošao je 1850. prema sjeveru kroz Beringov prolaz, a potom krenuo prema istoku. Stigao je do najzapadnijeg otoka arhipelaga, gdje je bio prisiljen napustiti svoj brod. Pa ipak, McClureovo putovanje, pridodato onome što je učinjeno na istoku, dovršilo je određivanje Sjeverozapadnog puta. Nitko, međutim, nije njime prošao u cijelosti, sve dok norveški istraživač Roald Amundsen (1872—1928) nije izvršio taj pothvat bez žurbe između 1903. i 1906.

Najsjeverniji otok Kanadskog arhipelaga je otok Ellesmere, nazvan 1852. prema članu britanskog parlamenta Franciscu Egertonu, earlu od Ellesmerea. Od sjeverozapadne obale Grenlanda odvaja ga uski pojas vode, mjestimice širok samo 10 kilometara.

Američki istraživač Elisha Kent Kane (1820-57) prvi se približio tom uskom prolazu 1855. Dospio je do točke na 80,6 stupnjeva sjeverne širine prije no što je led spriječio njegovo daljnje napredovanje. To je bilo gotovo na razini najsjevernijih kopnenih točaka zapadne polutke, no ipak se činilo da se i otok Ellesmere i Grenland nastavljaju dalje daleko prema sjeveru.

Drugi američki istraživač, Charles Francis Hall (1821—71) uspio se 1871. probiti između otoka Ellesmere i Grenlanda do 82,2 stupnja sjeverne širine. To je bilo samo 550 kilometara od Sjevernog pola, a ipak je bilo kopna dalje prema sjeveru. Tek 1907. danski istraživač Ludvig Mylius Erichsen

(1872—1907) uspio se probiti tako daleko na sjever uz istočnu (hladniju) obalu Grenlanda. Umro je u toku ekspedicije.

U međuvremenu, istraživači počeše zadirati u unutrašnjost Grenlanda.

Prvi značajni proboj s obale učinjen je 1878, kad je danski istraživač Jens A. D. Jensen (1849—1936) ušao 70 kilometara u unutrašnjost, doprijevši do ledene uzvisine 1,5 kilometara iznad razine mora. Bilo je jasno da čitava unutrašnjost Grenlanda, površina tri puta veća od Teksasa, mora biti pokrivena debelim ledenim prekrivačem, i svi su kasniji istraživači to potvrdili.

Godine 1888. norveški je istraživač Fridtjof Nansen (1861—1930) uspio prijeći Grenland od istoka do zapada na krpljama i skijama. Učinio je to na potezu nešto južnije od polarnog kruga, gdje je Grenland širok oko 520 kilometara. Kao što se moglo i očekivati, našao je nedirnut ledeni pokrivač, a na jednome se mjestu tijekom puta nalazio 2,7 kilometara iznad morske razine.

Američki istraživač Robert Edwin Peary (1856—1920) istraživao je 1892. ledeni pokrivač Grenlanda prema sjeveru i pronašao granicu njegova dosega na oko 82 stupnja sjeverne širine. Dalje prema sjeveru nalazio se gol i pust pojas kopna koji se danas zove Pearyjeva zemlja, i time su uskoro bili riješeni najsjeverniji dosezi otoka Ellesmere i Grenlanda. Nijedan se nije prostirao do Sjevernog pola.

Najsjevernija točka otoka Ellesmere (Rt Columbia) nalazi se na 83 stupnja sjeverne širine, a to je 235 kilometara bliže Sjevernom polu od Rta Čeljuskin. Na Grenlandu, najsjevernija točka, na sjevernom kraju Pearyjeve zemlje, jest Rt Morris Jesup (nazvan po jednom američkom bankaru koji je financirao arktičke ekspedicije). Rt Morris Jesup nalazi se na 83,63 stupnja sjeverne širine, oko 25 kilometara dalje prema sjeveru od Rta Columbia.

Kao što se pokazalo, osebujnost je Rta Morris Jesup da je on najsjeverniji komadić kopna na svijetu. On leži 475 kilometara od Sjevernog pola.

U početku, naravno, nitko nije mogao biti siguran da nema kopna dalje na sjeveru od Rta Morris Jesup. Većih je otoka moglo biti na svakome mjestu sve do samoga Sjevernog pola, a u njihovu pronalaženju bilo je nekih znanstvenih interesa. K tome, tjeralo ih je nešto što je bilo gotovo

manija — žudnja za polučivanjem rekorda. Postavilo se pitanje tko će prvi doprijeti do Sjevernog pola i tko će osvojiti čast i besmrtnost koji su s tim išli.

Sve otkako antički Grci bijahu zaključili da Zemlja mora biti okrugla, shvatilo se da svi smjerovi prema sjeveru moraju završavati u jednoj točki — naime, da Zemlja rotira oko osi koja se proteže od najsjevernije točke, preko središta Zemlje, do najjužnije točke. Ta sjecišta linije osi s površinom Zemlje jesu Sjeverni pol i Južni pol.

Te su točke predstavljale ekstrem pa su, prema tome, bile vrijedne same za se, ali k tome, led i ubojito vrijeme koji su ih čuvali pretvarali su taj pothvat u nešto što se može izvesti samo uz silne pogibelji po život. Zbog toga je taj zadatak za neke bio još privlačniji.

Prvi ozbiljni pokušaj da dopre do Sjevernog pola učinio je Nansen, koji je bio uspješno prešao Grenland. Brodovi koji bi nepažnjom ostali zamrznuti u polarnom ledu bili bi nošeni s ledom na velike udaljenosti prije no što bi se oslobodili u proljeće. Nansenu je palo na um da bi specijalno konstruiran brod, koji bi izdržao da ga ne zdrobi led, mogao namjerno dopustiti da se zamrzne te da bi tako mogao biti ponijet do Sjevernog pola.

Godine 1893. proveo je taj plan, no otkrio je da struja ne vodi preko Sjevernog pola. Brod nikad nije stigao dalje od 85 stupnjeva sjeverne širine. Za vrijeme zanošenja, Nansen je napustio brod i probio se saonicama s psećom vučom do 86,22 stupnja sjeverne širine, uspjevši se približiti Sjevernom polu na 420 kilometara, sjevernije od ma kojeg djelića kopna na Zemlji.

Nansen je uspio izmjeriti dubinu Arktičkog oceana ispod njegova ledenog pokrivača. Bio je dubok i činilo se da postaje sve dublji kako je čovjek odmicao dalje na sjever. To je smanjilo mogućnosti pronalaska nekoga dalekog sjevernog kopna, no nije utjecalo na utrku prema Sjevernom polu.

Peary, otkrivač najsjevernijeg odvojka Grenlanda, bio je osobito aktivan u toj utrci. Baza su mu bili najsjeverniji dosezi otoka Ellesmere, jer je to bilo najdalje na sjeveru kamo se moglo doći površinskim plovilom preko otvorene vode i ostavilo bi mu najmanju udaljenost, manje od 800 kilometara, za put saonicama preko leda.

Godine 1905, njegov ga je prvi veliki pokušaj s otoka Ellesmere doveo do 87,10 stupnjeva sjeverne širine, tek 320 kilometara od cilja, no tada se morao vratiti.

Potkraj veljače 1909. Peary je uložio sve svoje snage. Započeo je s velikom družinom koja je obuhvaćala 24 čovjeka, 133 psa i 19 saonica koje su vozile 3,25 tona zaliha. Putem su stvarani depoi i kod svakog bi ostajao netko iz grupe. Konačno su Peary, vozač njegovih psećih saonica Matthew Hensen (crnac), tri Eskima i psi krenuli u završni juriš od najsjevernijeg depoa. Napokon su stigli do Sjevernog pola 6. travnja 1909. Zatim su se vratili slijedeći vlastite tragove i koristeći se depoima stvorenim tijekom puta prema sjeveru. Do 25. travnja bili su ponovno na brodu.

Sve veće uspjehe arktičkih istraživanja valjalo je zahvaliti činjenici da su se istraživači naučili odijevati i živjeti poput Eskima i upotrebljavati pseću snagu, a ne snagu čovjeka, za vuču saonica.

ANTARKTIČKE VODE

Južnopolarna regija, Antarktika, bila je čvor što ga bijaše još teže razmrsiti nego daleki sjever. Antarktika je mnogo dalje od središta istraživačke aktivnosti u Evropi nego što je to Arktik, kao prvo. I, kao što se pokazalo, Antarktika je hladnija i neprijateljskija od Arktika.

Prva ozbiljna približavanja Antarktici od strane evropskih moreplovaca bila su Diasova i da Gamina dopiranja do najjužnijih dijelova Afrike i Magellanov prolaz kroz Magellanov tjesnac. U oba slučaja, nije postojao uopće nikakav interes za ono što je ležalo prema jugu. Moreplovci su samo pokušavali doprijeti do Indije.

Prolazeći kroz prolaz, Magellan je došao do točke na 53,92 stupnja južne geografske širine, daleko ispod najjužnije točke do koje je ikad prije stigao neki Evropljanin. To je, kako se slučilo, krajnji jug ijednoga naseljenog kontinentalnog područja. Jugoistočno od Magellanovog prolaza nalazilo se kopno što su ga zaposjela ljudska bića, jer su tamo primijećene stražarske vatre. Magellan ga je nazvao Tierra del Fuego (Ognjena zemlja), imenom koje nosi i danas.

Zemljopisci su s početka sumnjali da je Tierra del Fuego dio nekoga velikog južnog kontinenta, ni iz kojega drugog

racionalnog razloga već stoga što su antički Grci nagađali da bi takav jedan kontinent mogao postojati.

Godine 1578, međutim, engleski moreplovac Francis Drake (1540—96) prošao je Magellanovim prolazom na svom putu da opljačka španjolska naselja na zapadnoj obali Južne Amerike. Nakon što je izašao u Pacifik, zahvatila ga je oluja koja ga je odbacila toliko prema jugu da je mogao vidjeti kako južno od Tierre del Fuego leži otvoreni ocean, pojas vode što se otada naziva Drakeovim prolazom.

Najjužnija točka kopna na ili blizu Ognjene zemlje je Rt Horn na 56 stupnjeva južne širine, oko 3.850 kilometara od Južnog pola.

Nikoga nije zanimalo ići južnije od toga, barem u ono vrijeme, no tijekom istraživanja Južnog Pacifika koja su dovela do otkrića Australije, otkriveni su i neki daleki južni djelići kopna.

Francuski moreplovac Pierre Bouvet de Lozier (1705—86) naišao je 1738. na otok što se danas naziva Bouvetovim otokom u južnom Atlantiku. Bila je to nenastanjena točkica kopna na 54,43 stupnja južne geografske širine. Drugi francuski moreplovac, Yves Joseph de Kerguélen-Trémarec (1734—97) otkrio je 1771. otočje Kerguelen, skupinu od oko 300 otočića u južnome Indijskom oceanu na 49,5 stupnjeva južne širine.

Nijedan od tih otoka nije bio tako daleko na jugu kao Rt Horn, ali oba su bila gola i pusta, znak veće hladnoće antarktičkih područja, jer su slična kopnena područja na sličnim širinama na sjevernoj polutki bila daleko manje odbojna.

Za vrijeme svoga drugog putovanja, kapetan Cook probio se tako daleko prema jugu da je napokon prešao antarktički polarni krug. On i njegova posada bili su prvi ljudi u povijesti — ne samo prvi Evropljani, već prva ljudska bića ma koje vrste — koji su ostvarili taj prijelaz. Bilo je to 17. siječnja 1773. Tijekom putovanja Cook je ostvario još dva kasnija prelaženja, a njegov najjužniji proboj zbio se 30. siječnja 1774, kad je dosegao 71,17 stupnjeva južne širine i kad je bio samo 1.820 kilometara od Južnog pola. Za cijelo vrijeme putovanja zaustavljao ga je led i nikad nije ugledao nikakva pravog kopna.

U toku tog putovanja Cook je otkrio otoke koji leže prema istoku i jugoistoku od Rta Horn. Najjužniji mali otok iz

te grupe je otok Thule na 59,43 stupnja širine, 3.460 kilometara od Južnog pola.

Jedna posljedica istraživanja kapetana Cooka bilo je otkriće da su antarktičke vode bogate tuljanima i kitovima. To je nagonilo brodove prema jugu, kad možda čiste radosti istraživanja ne bi dostajale. Britanski lovac na tuljane William Smith otkrio je 1819. Južne Shetlandske otoke. Oni su se nalazili ravno prema jugu od Rta Horn, a najjužniji djelić kopna među njima je na 63 stupnja južne širine, 3.050 kilometara od Južnog pola.

To nije dugo ostalo rekordom. Dvadesetjednogodišnji američki lovac na tuljane Nathaniel Brown Palmer spazio je 16. studenoga 1820. kopno južno od Južnih Shetlandskih otoka. On možda i nije bio prvi u tome. William Smith možda mu je prethodio, a mogao je to i britanski kapetan fregate Edward Bransfield. Vode južno od južnih Shetlanda zovu se Bransfieldov prolaz.

U početku nije bila jasna priroda tako zapažena kopna. Kasnije je otkriveno da je to poluotok koji se danas zove Antarktički poluotok. On je doista najsjeverniji produžetak jednoga kontinenta. Međutim, kopno koje je zapaženo 1820. bilo je još dosta daleko na sjeveru od antarktičkog polarnog kruga.

Iste te godine, ruski istraživač Fabian Gottlieb Bellinghausen (1778—1852), ploveći vodama u blizini antarktičkog kruga, otkrio je otočić što ga je nazvao otok Petar I. Bio je na 68,8 stupnjeva južne širine, što je 240 kilometara južno od antarktičkog kruga. To je bio prvi ikada otkriveni komad pravoga antarktičkog kopna.

Bellinghausen je otkrio i jedan mnogo veći komad kopna neposredno prema zapadu od baze Antarktičkog poluotoka, koji leži još južnije. Dao mu je ime otok Aleksandar I. Voda koja okružuje te otoke je Bellinghausenovo more.

Engleski lovac na kitove James Weddell (1787—1834) otkrio je jedan potez oceana koji se prostirao dalje prema jugu od svega što je prije istraženo i 20. veljače 1823. dosegao je do točke na 72,25 stupnjeva južne širine, prije no što su ga vjetrovi i led upravili natrag. To je predstavljalo novi rekord na jugu koji je premašio Cookov pet godina star rezultat. Weddell se približio Južnome polu na nešto malo manje od 1.800 kilometara. Kanal u koji je uplovio Weddel nalazi

se istočno od Antarktičkog poluotoka i danas je poznat kao Weddellovo more.

Sva otkrića kopna 1820-ih godina u antarktičkim vodama nastala su u širem području južno od Ognjene zemlje. Godine 1831. došlo je do prvog viđenja antarktičkog kopna na drugoj strani svijeta. Te godine, engleski moreplovac John Briscoe ugledao je liniju neke obale neposredno prema sjeveru od antarktičkog kruga i južno od Madagaskara. Nazvao ju je Enderbyjevom zemljom prema vlasniku njegova broda. Vidio ju je samo iz daljine, jer ga je led spriječio da dopre do nje.

Francuski istraživač Jules Dumont d'Urville (1790—1842) jedrio je 1840. godine južno od Australije i zamijetio neku liniju obale gotovo točno na antarktičkom krugu. Nazvao ju je Obala Adélie, prema svojoj ženi.

Gotovo u isto vrijeme, američki istraživač Charles Wilkes (1798—1877) slijedio je dugi odsjek obale između Obale Enderby i Obale Adélie, odsjek koji je iznenađujuće točno slijedio antarktički krug. Taj dio kopna koji leži južno od Indijskog oceana danas je poznat kao Wilkesova zemlja.

ANTARKTIKA

Wilkes je, vrativši se, prvi navijestio da bi se sva izolirana otkrića prethodnih dvadeset godina mogla spojiti kao indikacija za postojanje jedne južnopolarne kopnene mase kontinentalne veličine. To označava prvu spoznaju da je na Zemlji postojao i sedmi kontinent, gotovo dva puta veći od Australije, ali zamalo čitav unutar antarktičkog kruga pa stoga nenastanjen i (osim za specijalno opremljene istraživačke i znanstvene grupe) nenastanjiv. Kontinent je nazvan Antarktika.

U siječnju 1841, škotski istraživač James Clark Ross (1800—62), nećak arktičkoga istraživača Johna Rossa, ušao je u neki kanal u Antarktici u području koje leži uglavnom prema jugu od Novog Zelanda i koji se danas zove Rossovo more. Jedrio je prema jugu, sve dok ga nije zaustavio visoki ledeni zid, visok 60 do 90 metara. Pokazalo se da je to ledeni prag, debeli sloj leda izbačen preko mora iz ogromnoga ledenog pokrova (devet puta većeg od onoga što prekriva Grenland) koji je postojao na Antarktici. Rossov ledeni prag,

kako se zove, prekriva područje inače otvorena oceana veliko poput Francuske.

I Weddellovo more ima jedan ledeni prag preko južnih dijelova. Ime mu je Filchnerov ledeni prag, prema njemačkom istraživaču Wilhelmu Filchneru (1877—1957) koji ga je prvi istraživao. Nijedan ledeni prag ne proteže se do Južnog pola. Rossov ledeni prag, koji se zasijeca dublje u kontinent, dopire do 86 stupnjeva južne širine, manje od 500 kilometara od Južnog pola.

Norveški kitolovac pod zapovjedništvom Leonarda Kristensona iskrcao je 23. siječnja 1895. grupu ljudi na Viktorijinoj zemlji na zapadnom rubu Rossovog mora. Prvi put u povijesti svijeta, ljudska bića stajala su na zemlji unutar antarktičkog kruga.

Jedan iz te grupe bio je Carsten E. Borchgrevink (1864—1934) koji se vratio 1898. i, s još devet muškaraca, prezimio na Antarktici, prvi koji je to ikad učinio. Na jednoj je točki Borchgrevink stavio skije i uputio se u prvi pokušaj uopće da se kopnom prodre prema jugu. Šesnaestoga veljače 1900. došao je do mjesta na 78,8 stupnjeva južne širine i bio je samo 1.250 kilometara od Južnog pola.

Natjecanju su se pridružili drugi istraživači, a jedan od najrevnijih bio je Englez Robert Falcon Scott (1868—1912). On i njegovi drugovi krenuli su saonicama preko Rossova ledenog praga i 13. prosinca 1902. doprli do 82,28 stupnjeva južne širine, samo 800 kilometara od Južnog pola.

Jedan od njegovih drugova, Ernest Henry Shackleton (1874—1922) pokušao je ponovno. Devetog siječnja 1909. njegova je grupa uspjela doseći 88,38 stupnjeva južne širine, samo 155 kilometara od Južnog pola. Svaki je čovjek vukao svoje saonice, a vratili su se tek kad je postalo jasno da bi daljnje putovanje značilo kako njihove zalihe hrane neće dostajati za povratak.

Sada je sve bilo spremno za konačni juriš. Na poprištu su bila dva kandidata. Jedan je bio Scott, a drugi je bio Amundsen koji je već ostavio traga u arktičkim istraživanjima.

Amundsen se pripremio krajnje pomnjivo, upotrijebivši saonice na pseću vuču i mnogo pasa. Bila su pedeset i dva psa pri polasku, kad je Amundsen krenuo 20. listopada 1911. Dok je napredovao, ubijao je slabije pse i hranio njima snažnije, štedeći zalihe hrane koje je ponio za ljude-članove

ekspedicije. Na taj je način izbjegao prisilu da se vrati, što se dogodilo Shackletonu. Amundsen je stigao do Južnog pola 14. prosinca 1911, a ekspedicija se vratila 21. siječnja 1912. s još dvanaest preživjelih pasa i mnogo preostale hrane. Nije bilo ljudskih žrtava.

Scottov je pokušaj bio manje pažljivo organiziran, nije se toliko oslanjao na pse i zahvatila ga je zla sreća. Posljednjih 650 kilometara prevaljeno je samo uz pomoć saonica koje su vukli ljudi. Scott i četiri druga stigli su do Južnog pola 17. siječnja 1912. i pronašli tamo već Amundsenovu oznaku. Trebalo im je šezdeset i devet dana da dopru do pola prema Amundsenovih pedeset i pet i bili su iscrpljeni. Na povratku, svu je petoricu uhvatila devetodnevna jaka mećava koja je bila konačni udarac i svi su umrli od smrzavanja na dan ili približno 29. ožujka 1912.

Do 1912, dakle, oblik svih kopnenih i morskih područja Zemlje bio je razrađen do znatnih pojedinosti, kao rezultat pet stoljeća manje ili više neprekidnih istraživanja, uglavnom od strane Evropljana, od vremena Henrika Pomorca.

Tek potkraj tog razdoblja, novorazvijeni avioni omogućili su prelaženje svih prepreka velikom brzinom i uz relalativno malo nevolja. Devetoga svibnja 1926, dva Amerikanca, Richard Evelyn Byrd (1888—1957) i Floyd Bennett (1890—1928) preletjela su od Spitzbergena do Sjevernog pola i natrag u neprekidnu letu koji je trajao samo četrnaest sati. Prvi let preko Antarktike izveden je 20. prosinca 1928.

U svojim bitnim dijelovima, svijet je konačno bio ubilježen u zemljopisnu kartu.

4

Valovitost površine

PLANINE

Horizont zemaljskog prostora nije iščeznuo kad je jedanput cijela površina Zemlje u biti bila dokučena i kad su se mogle izraditi zemljopisne karte (osim relativno manje važnih detalja) cijeloga globusa s prihvatljivom preciznošću. Čak i tada je bilo mjesta za ekspanziju.

Primjerice, iako je Zemljina površina u biti dvodimenzionalna struktura (unatoč zakrivljenoj površini kugle), ona je valovita, što predstavlja osobite probleme. Temeljni su primjer za to veliki planinski lanci.

Planine su oduvijek impresionirale ljudski rod. Veliki masivi koji uzdižu svoje vrhove u nebo, magloviti, šutljivi, prekriveni snijegom i naizgled neosvojivi, smjesta inspiriraju ljude i čine ih poniznima. Uzdignuti nedostižno visoko, djelovali su kao prikladna obitavališta za bogove prije no za ljudska bića i ljudi su često smatrali planine svetim područjem te su osjećali da je razumnije prinositi žrtve bogovima na brdima, a ne u ravnicama.

U bibliji, bog je grmio s planine Sinaj i tamo su djeca Izraela, prema biblijskoj priči, primila svoj Zakonik. Biblija ne navodi potanje lokaciju te planine ni na koji način što bi se mogao identificirati, no tradicija poistovjećuje planinu Sinaj s jednim od vrhova na južnom kraju Sinajskog poluotoka, 380 kilometara južno od Jeruzalema. On je visok 2.285 metara i za lokalne je Arape to Jabel Musa (»Mojsijeva planina«). Obližnji vrh Jabel Katherina visok

je 2.670 metara i bio bi impresivniji dom za Boga, no s tradicijom se ne raspravlja.

Slično tome, u 5. knjizi Mojsijevoj, Izraelićani dobivaju upute za izvođenje različitih značajnih rituala na planinskim vrhovima u novoj zemlji koju trebaju zaposjesti. Brdo Gerizim i brdo Ebal u središnjem Izraelu bijahu odabrani za tu svrhu. S vremenom, hram što ga je sagradio Solomon u Jeruzalemu postade središtem judejske vjere, potpuno zamijenivši sva »visoka mjesta«, no među Samaritancima, jednom židovskom sektom, brdo Gerizim ostalo je sveto mjesto. Visoko je samo 885 metara.

Antički Grci smatrali su da je prebivalište bogova na planini Olimp u sjevernoj Grčkoj. Ona je visoka 2.900 metara i najviša je planina na grčkom poluotoku. I dalje, planina Fudžijama, visoka je 3.775 metara i najviša u Japanu, sveta je planina.

Kako vrijeme prolazaše, religijski su pojmovi postajali eterični i mjesto božanstava premještalo se sa zemaljskih planinskih vrhova na nebeski svod, a potom na transcendentalno nebo koje uopće nije bilo dio vidljiva svemira. Pa ipak, moguće je posumnjati da su kupole i zvonici koji nadvisuju crkve, kao i islamski minareti i babilonski zigurati i egipatske piramide, sve primjeri umjetnoga vraćanja planinama gdje su živjeli bogovi.

Ostavimo li po strani religiju i praznovjerja, planinski lanci srazili su se s ljudskim bićima ponajprije kao barijere. Takve barijere mogu biti ugodne, jer planine mogu poslužiti kao zaštita od napadačke vojske, ili kao mjesta gdje narod koji poznaje sve dijelove planine može organizirati nepokolebljivu i odlučnu obranu od zavojevača koji tu planinu ne poznaje.

Tako je planinski lanac Alpa koji vijuga sjeverom Italije većinom zaštićivao tu zemlju, dok su iste te planine uvijek bile značajan činitelj za slobodu Švicarske.

Preveliko povjerenje u takve barijere može, međutim, biti štetno. Hanibal iz Kartage iznenadio je Rimljane 218. godine prije nove ere kad se, umjesto da pokuša doprijeti do Italije morem iz Španjolske, upustio u ogroman rizik putovanja kopnom i prijelaza Alpa.

Obično, međutim, planine štite. Kad su muslimani osvojili Španjolsku 711. godine nove ere, njihov pokušaj da dodaju Franačko kraljevstvo svome području vlasti osujetili su Pi-

rineji. Franačko je kraljevstvo odoljelo, a kad je Karlo Veliki pokrenuo protunapad 778, Pirineji su i njega zaustavili. Do današnjega dana, linija Pirineja označava granicu između Francuske i Španjolske — a linija Himalaje označava granicu između Indije i Kine, ona Anda označava granicu između Čilea i Argentine, linija Alpa označuje granicu između Italije i njezinih susjeda i tako dalje.

USPON U ALPE

U antičkom i srednjovjekovnom dobu, čini se da se nitko nije uspinjao planinama iz nekoga drugog razloga osim da stigne na drugu stranu. Međutim, 1492. (one godine kad je Columbo otkrio Novi svijet), jedan francuski dvoranin poveo je grupu ljudi na planinu Aiguille (visoku oko 2.100 metara) u jugoistočnoj Francuskoj, 45 kilometara južno od Grenoblea.

Dvorjanin je obavio taj zadatak zato što je njegov vladar, francuski kralj Charles VIII (1470—98), bio čuo kako se pretpostavlja da se na tu planinu ne može uspeti i želio je to provjeriti. Kako je bio kralj, mogao je narediti nekome drugom da se izloži rizicima i podnese odgovarajuće teškoće.

Švicarski prirodoslovac Konrad Gesner (1516—65) uspinjao se na alpske vrhove u brojnim prilikama i čini se da je uživao u tome. Opširno je pisao o raznim vrstama bilja i životinja, a njegovo je planinarenje imalo znanstveni izgovor, jer je tražio rijetke vrste koje bijahu ograničene na planinske visine.

Još jedan primjer takva planinarenja zbio se u Sjevernoj Americi. Tamo se jedan newhampshirski naseljenik, Darby Field, popeo u lipnju 1642. na planinu koja će kasnije biti nazvana Mt. Washington (visoku 1.917 metara, najviši vrh u današnjim sjeveroistočnim Sjedinjenim Državama). Imao je teškoća navodeći indijanske vodiče da ga prate, jer su Indijanci, nimalo iznenađujuće, smatrali to svetim područjem.

No, tek u 1700-tim godinama planinarenje je postalo nešto više od povremena egzotičnog majstorluka. U to je vrijeme počela cvjetati geologija — proučavanje Zemljine kore — i znanstvenici su se zainteresirali za planine. Proučavali su njihovu formaciju, njihove stijene i ledenjake. Botaničari

postajaše sve zainteresiraniji za biljni svijet svojstven planinama, a zoolozi za životinjski svijet.

Budući da se suvremena znanost osobito razvijala i širila u Evropi, planine zapadne Evrope dobile su prvu podrobnu pažnju znanstvenika — naročito Alpe, najviši planinski lanac u zapadnoj Evropi.

Najviši vrh u Alpama je Mont Blanc (*blanc* je francuska riječ za »bijel«; ime se, naravno, odnosi na snježni pokrivač planine koji se zadržava cijele godine) visok 4.807 metara, dva puta viši od Sinaja. Nalazi se u južnoj Švicarskoj, neposredno na sjeveru od talijanske granice, oko 100 kilometara jugoistočno od Geneve. On i ostali obližnji vrhovi imaju najveće i najspektakularnije ledenjake u Alpama pa stoga privlače veliku pažnju.

Godine 1760, dvadesetogodišnji student fizike iz Geneve imenom Horall Bénédict de Saussure stigao je do Mont Blanca. Kasnije u životu bit će profesor fizike i izumiti instrumente za mjerenje vlažnosti atmosfere te električnog potencijala. On je također prvi upotrijebio riječ »geologija«. No, 1760. bio je tek mladić koji promatra Mont Blanc i razmišlja kako bi bio divan pothvat uspeti se na njegov vrh.

De Saussure nije imao odlučnosti da to sam učini, no ponudio je novčanu nagradu prvoj osobi koja uspije. Dvadeset i šest godina nijedna osoba nije pokušala osvojiti nagradu. Osoba koja je tada pokušala bio je Michel Gabriel Paccard, francuski liječnik koji je 1786, u pratnji nosača, dopro do vrha Mont Blanca i dobio nagradu.

Saznavši da se to može učiniti, de Saussure više nije čekao. Iduće godine, iako mu je tada već bilo četrdeset sedam godina, i on se popeo na Mont Blanc. Sa sobom je ponio znanstvene instrumente da izmjeri tlak zraka, temperature i tako dalje. Naravno, započevši tim prvim viđenjem planine, postao je oduševljeni planinar i iskorištavao je svaku mogućnost da proučava formaciju stijena planina.

Zapazio je da su naslage (slojevi stijena) paralelne, no da nisu vodoravne pa ni ravne. Svijale su se u uleknuća i petlje. U početku je pretpostavio da su se stijene slučajno tako kristalizirale, dok nije vidio da se neke naslage sastoje od pijeska i šljunka čvrsto sljubljenih zajedno. Shvatio je da one nisu mogle biti nataložene na kraju. Naslage su u početku morale biti ravne i horizontalne i morale su se nabirati i svijati u toku formiranja planina iz razine tla.

Tako se pokazalo da uspinjanje planinama ima znanstveno značenje, no samo je mali broj planinara razmišljao o tome. Planinarenje je postalo sportom.

Godine 1854, Englez Alfred Wills uspeo se na Wetterhorn, alpski vrh visok 3.708 metara, dok je bio na bračnom putovanju. Dosta neobična stvar da se učini u takvo vrijeme, no to je primjer koji pokazuje kako je jedan takav opasan i naporan sport zarobio maštu one vrste ljudi što su takve izazove smatrali neodoljivima.

Sve više i više vratolomnika (gotovo uvijek s Britanskih otoka, iz nekog razloga) dolazilo se uspinjati na planinske vrhunce pa su Švicarci razvili različite vodiče, neku vrstu profesionalnih korpusa planinara koji su mogli biti na usluzi turistima.

Alpinistički sport izgubio je ponešto od užitka zbog činjenice da je Mont Blanc, najviši vrh, bio prvi osvojen te nije bilo mogućnosti za postavljanje nekoga novog većeg rekorda. No, sama visina nije uvijek pravo mjerilo teškoća.

Razmotrimo, primjerice, Matterhorn, oko 20 kilometara istočno od Mont Blanca. Visok je 4.478 metara, 329 metara manje od Mont Blanca, no čini se kao da se njegov vrh probija okomito nagore te pruža osobito čaroban prizor, naročito s talijanske strane. Općenito se smatralo da se na nj ne može popeti.

Engleski slikar Edward Whymper (1840—1911) došao je u Alpe s namjerom da slika planinske prizore i osvojila ga je fascinantnost planinarenja. Početkom 1860-ih godina pokušao je ništa manje nego šest puta osvojiti Matterhorn s talijanske strane, no nije uspio. Jednom je prilikom, međutim, ugledao drugu stranu planine, onu Švicarsku, i učinilo mu se da je strmina tamo pristupačnija.

Kad je, prema tome, pokušao sedmi put, pošao je švicarskom stranom i 14. srpnja 1865. u 13 sati četrdeset minuta dopro do vrha sa šest drugova. Na povratku, međutim, dok su sva sedmorica silazila u jednoredu spojeni međusobno dugačkim konopom, jedna se osoba — najneiskusniji penjač — okliznula. Zamisao s konopom sastojala se u tome da sprječi fatalni učinak okliznuća. Ostali na konopu pripili bi se uz planinu i čovjek koji se okliznuo visio bi dok ne bi bio spašen.

Tada je to, međutim, djelovalo obratno. Čovjek koji se okliznuo povukao je čovjeka pokraj sebe, njihova je dvo-

struka težina povukla idućega, zatim četvrtog. Da konop nije puknuo između četvrtog i petog čovjeka, svi bi se sunovratili niz planinu. Četvorica su poginula, no Whymper i dva švicarska vodiča se spasiše. (Bilo je neobuzdanih govorkanja da je jedan od preživjelih namjerno prerezao konop, no to nikad nije dokazano.)

Ta strašna nesreća učinila je više od ma čega drugog za romantičarsko shvaćanje planinarenja i njegovu aktraktivnost za one kojima je opasnost mirodija.

Kao što se često događa, kad se jedanput ostvari pothvat za koji se traže vještina i odvažnost, uz velike teškoće i nakon mnogo godina pokušaja, ponavljanja postaju uobičajena stvar, u usporedbi gotovo laka. Samo tri dana poslije Whymperova uspona, grupa talijanskih alpinista stigla je do vrha s teže talijanske strane. Danas su usponi na nj rutinska stvar u ljetnoj planinarskoj sezoni. Najmanje se 100.000 uspelo na taj vrh u proteklom stoljeću, iako je pri tome poginulo više od 90.

ONKRAJ ALPA

Do 1870. godine Alpe više nisu bile stvarni izazov. Isuviše je vrhova osvojeno isuviše puta. Alpe, međutim, nipošto nisu bile najviši planinski lanac na svijetu, a Mont Blanc je bio daleko od najvišega vrha.

Pokušaja je već bilo i drugdje. U američkom Stjenjaku, godine 1819. osvojen je Pikes Peak u Coloradu, no on je niži od Mont Blanca.

Prvi planinski vrh viši od Mont Blanca koji je uspješno svladan bio je Ararat u današnjoj istočnoj Turskoj, u kutu područja što leži između Irana i Sovjetskog Saveza. On ima dva vrha, od kojih je viši, Veliki Ararat, visok 5.165 metara, 358 metara više od Mont Blanca.

Na nj se popeo 1829. Nijemac Johann Jacob von Parrot. Iza tog uspona nalazio se osobit poticaj. Ararat je, prema tradiciji, planina na kojoj je Noina barka napokon našla mir poslije potopa, pa među romantičarima uvijek postoji nada da će otkriti neke ostatke toga prastarog broda.

Von Parrot nije našao nikakvih tragova barke. Otada je bilo i drugih planinara i povremeno se čuju izvještaji o ostacima, no nikad se nije pojavilo nešto doista uvjerljivo.

Najviši vrh u Meksiku je Citlaltépec, oko 70 kilometara zapadno od Vera Cruza, visok 5.700 metara. Prvi je put osvojen 1848.

No, tek poslije 1870. planinari svijeta počeli su tražiti velike vrhove, ma gdje se oni nalazili.

Kilimandžaro je najviši planinski vrh u Africi. Nalazi se u Tanzaniji, južno od kenijske granice, oko 210 kilometara južno od Najrobija, a visok je 5.895 metara. Dva Nijemca, Hans Meyer i Ludwig Purtscheller, uspješno su se popela na nj 1889. godine.

Desetak godina kasnije, britanski planinar Halford Mackinder popeo se na nešto niži vrh Kenya (visok 5.193 metra, 320 kilometara sjeverno od Kilimandžara).

S Kilimandžarom, međutim, nije bio postavljen rekord. Planinari se bijahu prihvatili planinskog lanca Anda. Jedan od najviših andskih vrhova je Chimborazo u Ekvadoru, 150 kilometara južno od Quita, visok 6.267 metara. Bilo je više pokušaja njegova osvajanja. Zapravo, veliki zemljopisac Alexander von Humboldt (1769—1859) pokušao je izvesti taj pothvat još 1802, u prvim danima planinarenja, uspjevši doprijeti do visine od 5.760 metara, gotovo 1.000 metara više od Mont Blanca. Kako, međutim, nije dosegao vrh planine, taj se pothvat obično previđa.

Godine 1880, na Chimborazo se popeo Whymper, osvajač Matterhorna, ne jedanput već dva puta. On se prvi uspeo na neki vrh viši od 6.000 metara.

Samo je nekoliko andskih vrhova viših od Chimboraza. Najviši u planinskom lancu Anda i zapravo najviši bilo gdje izvan Azije jest Aconcagua na granici Čilea i Argentine, 100 kilometara sjeveroistočno od Santiaga. Visina mu je 6.960 metara. Osvojila ga je 1897. ekspedicija koju je vodio engleski planinar Edward A. Fitzgerald.

Najviši vrh u Sjevernoj Americi je McKinley. Nalazi se u južnoj Aljasci, 250 kilometara jugozapadno od Fairbanksa. Visok je samo 6.194 metra, dosta niži od Aconcague, no zbog svoga položaja ne tako mnogo južnije od polarnog kruga, McKinley je najpopularnija od velikih planina u svijetu, a to pojačava teškoće uspona. Tek 1913. četvorica se ljudi, predvođena pedesetogodišnjim engleskim svećenikom Hudsonom Stuckom (1863—1920), uspjela popeti tom planinom sve do vrha.

U dvadesetom se stoljeću, međutim, planinarenje počelo sve više okretati kompleksu planinskih lanaca Himalaje koji obuhvaća najviše planine na svijetu. Na Zemlji postoji četrdesetak vrhova viših od 7.000 metara i svi do jednoga nalaze se u Himalaji.

Prvi od njih koji je osvojen bio je Trisul u sjevernoj Indiji, 300 kilometara sjeveroistočno od Delhija. Visok je 7.120 metara i uspon na nj ostvaren je 1907. godine.

Najviši vrh u Sovjetskom Savezu je Vrh komunizma, 7.495 metara, u planinskom lancu Pamir, najzapadnijem dijelu Himalaje. Nalazi se u Tadžikskoj SSR, oko 120 kilometara zapadno od kineske granice. Grupa sovjetskih planinara uspela se na nj 1933.

No ni to nije bio rekord, jer je 1931. osvojen Kamet, vrh 70 kilometara sjeverozapadno od Trisula, a njegova je visina 7.756 metara. Pet godina kasnije taj je rekord oboren, kad se jedna engleska grupa popela na vrh Nanda Devi visok 7.817 metara, u istome području.

Istinski aristokrati planinskih lanaca bijahu četrnaest vrhova što nadvisivahu 8.000 metara, većina na granici između Nepala i Tibeta.

To je bio strop Zemlje, planinari su tu dosegli razinu teškoća usporedivu s osvajanjem polova. U jednom su pogledu planinski vrhunci bili daleko gori. Ma kako bila teška okolica Sjevernog pola i Južnog pola, tamo je barem bilo moguće disati. No na velikim planinskim vrhuncima Nepala-Tibeta zrak je bio tako rijedak da je i najmanji napor imao veliku cijenu. Na kraju, boce s kisikom postale su za planinare jednako važne kao psi za vuču za polarne istraživače.

Prvi 8.000-metarski osvojeni vrh bio je Annapurna na sjevernom dijelu središnjeg Nepala. Visok je 8.078 metara, a konačno se na nj popela 1950. godine francuska ekipa pod vodstvom Mauricea Herzoga.

Najviša planina na svijetu bijaše ona koja se nalazila točno na granici Nepala i Tibeta, oko 150 kilometara od istočne granice Nepala. Tek je 1952. njezino prvenstvo dokazano bez dvojbe. Jedna je premjera tada pokazala da njezin najviši vrh nadmašuje 8.800 metara, a nijedan drugi vrh nije tako visok. Uzima se danas da je njegova točna visina 8.848 metara. On je 1,84 puta viši od Mont Blanca i tri puta viši od Olimpa. Tibetanci ga zovu Chomolungma (»Božica Majka Svijeta«) i jedanput strahopoštovanje prema lokalnoj plani-

ni nije neumjesno. Godine 1865. nazvan je Mount Everest, prema Georgeu Everestu koji je bio generalni geodet za Indiju od 1823. do 1843. godine.

Britanski planinari započeli su s pokušajima da se popnu na Mt. Everest 1920. godine. Najrevniji je među njima bio George Leigh Mallory (1886—1924) koji je, upitan zašto se želi popeti na Mt. Everest, dao nadahnut odgovor koji će se zauvijek citirati: »Zato što je tu!« To je očajnički (i veličanstven) razlog koji leži iza tolikih trijumfa i katastrofa čovječanstva.

Mallory i njegov drug Andrew C. Irvine probijali su se 1924. prema vrhu od najvišeg logora i oni što ostadoše iza vidjeli su kako stigoše na 330 metara od vrha, a potom se zavrtložiše oblaci. Nitko ih više nikad nije vidio. Godine 1933. vrh je opet zamalo dosegnut, ali ne posve. Sve u svemu, između 1921. i 1938. bilo je sedam pokušaja uspona na Mt. Everest s tibetanske strane i svi su bili bezuspješni.

Tada je došao drugi svjetski rat 1939. i kinesko osvajanje Tibeta 1949. Do tada su planinari bili spremni na ponovni pokret, no Tibet je bio zatvoren. S nepalske strane učinjena su 1951. i 1952. tri pokušaja, sva tri bezuspješna, iako se u jednom od njih i opet doprlo na 300 metara od vrha.

Napokon je 1953. isplanirana najveća ekspedicija od svih koja je potpuno iskoristila sve napretke tehnologije. Upotrijebljene su boce s kisikom, kao i izolirane cipele i odjeća, radio-oprema i tako dalje. Uspostavljeno je osam logora i uspon se sistematski provodio sve dok, 29. svibnja 1953. Edmund P. Hillary (1919), novozelandski knjigovođa, i nepalski vodič Tenzing Norkay (1914) nisu stali na najviši komadić kopna na Zemlji.

Otada je uspon na Mt. Everest ponovljen gotovo dvadeset puta, a osvojeni su i praktički svi ostali visoki planinski vrhovi.

I u tom smjeru, čini se da je horizont dosegao svoju granicu.

SPILJE

Površina Zemlje, međutim, ne proteže se samo nagore, već do određenih razmjera i nadolje, jer najgornja ljuska Zemlje nije nužno masivna. Stvaraju se šupljine, ili zato što

se rastaljena lava skrućuje oko kakva zračnog mjehura, ili zato što se donekle topive stijene postupno ispiru pod djelovanjem kiše i izvora. Rezultat su spilje.

U primitivna vremena, takve su spilje bile spretna skloništa za ljudska bića. One su pružale zaštitu od grabežljivaca i vremena, a lako su se mogle zagrijati krijesovima. U spiljama su pronađeni mnogi fosili i ostali tragovi čovjeka iz ledenog doba, a neke od tih spilja sadrže slikarije koje su najraniji dokaz umjetničkih čežnji ljudskih bića.

Najdulji sustav spilja na svijetu, koliko se zna, jest prikladno nazvana Mamutska spilja u Kentuckyju, oko 135 kilometara jugozapadno od Louisvillea. Zamršeni međusobno spojeni hodnici mogu se slijediti čak 232 kilometra, što je dvostruka dužina drugog najopsežnijeg sustava spilja, Holloch u Švicarskoj.

Speleologija, proučavanje spilja, postala je organiziranom znanošću potkraj 1800-tih godina, kao i istraživanje spilja u obliku uzbudljivog sporta (katkada zvanog »spelunkiranje«).

Već 6. travnja 1841, čovjek po imenu Antonio Lindner ušao je u jednu spilju blizu Trsta (tada u Austro-Ugarskoj) do mjesta koje je bilo 329 metara ispod ulaza u spilju. To je bila najveća dubina do koje je netko prodro do tog vremena i ostala je takvom sve do kraja devetnaestog stoljeća.

Dvadeseto stoljeće doživjelo je procvat istraživanja. U Francuskoj su postojale najdublje spilje (za razliku od najrazvedenijih). Najdublja od svih, koliko znamo, je Gouffre de la Pierre St. Martin u zapadnim Pirinejima. Između. 8. i 11. studenoga 1969. jedna grupa istraživača uspjela je doći do točke 1.173 metra ispod njezina ulaza.

Ne možemo biti sigurni da negdje ne postoje spilje koje su još dublje, no nije vjerojatno da bi one mogle biti mnogo dublje, jer se pritisak naglo povećava sa spuštanjem kroz slojeve stijena. I temperatura se naglo povećava pa kombinacija temperature i pritiska sabija svaku spilju na dubinama znatno većima od jednoga kilometra. Spilje su stoga izričito površinska pojava na Zemlji i zamisli (prisutne često u pseudoznanstvenim pričama, u primitivnoj znanstvenoj fantastici i lošim filmovima) o tome kako mogu postojati spilje koje vode dolje sve do šupljega središta planeta, čista su fantazija.

Dakako, ljudska su bića kopala tlo od najranijih vremena u potrazi za vodom ili rudačama metala, povremeno u tom traganju kopajući očajnički duboko.

U Montani, u listopadu-studenome 1961. iskopan je jedan bunar koji je dosegao do 2.230 metara u dubinu, dvostruko više od najdublje poznate točke u nekoj prirodnoj spilji.

Ljudska će bića u potrazi za zlatom kopati još dublje. Južna Afrika ima najdublje rudnike, a jedan od njih, Carltonville, dosegao je dubinu od 3.540 metara u travnju 1974. Na toj je dubini temperatura takva da se mora upotrebljavati snažno rashlađivanje kako bi rudari mogli raditi. Na toj dubini, k tome, pritisci na stijenje izazvani težinom gornjih slojeva stijena takvi su da postoji stalna opasnost urušavanja tunela. Nije vjerojatno da će se ljudska bića probiti mnogo dublje bez nekog značajnog napretka tehnologije.

Još se dublje rupe kopaju zbog one najželjenije stvari — nafte. Najdublja naftna bušotina koja trenutačno postoji nalazi se u Oklahomi, gdje je postignuta dubina od 9.583 metra, dublja od visine Mt. Everesta.

5

Ocean

VODENA POVRŠINA

Dosad smo se bavili širenjem čovjekova horizonta uglavnom u vezi s površinom kopna. More smo razmatrali tek kao prometnicu, kao put od jednoga do drugog dijela kopna. Pa ipak, more koje pokriva 70 posto Zemljine površine sigurno i samo pruža područje za proučavanje — jedan novi horizont.

Ljudska bića jedrila su i vozila se parobrodima cijelim oceanom, no obično ih je zanimala samo površina. Uglavnom su zanemarivala ogromne volumene vode što leži ispod površine — domenu riba i mnogih drugih oblika života, bogatijih kvantitetom i daleko starijih prema evolucijskoj pozadini od života na kopnu.

Dakako, ljudska bića nisu posvemašnji stranci u svijetu vode. *Homo sapiens* je skroz-naskroz kopneni sisavac i može lako ostati daleko od vode (osim za piće) cijeli svoj život. Pa ipak, ljudska bića, ako to žele, mogu se zagnjuriti u vodu i gibati se kroz nju.

Mnogi kopneni sisavci lako mogu plivati, nastavljajući u vodi iste osnovne pokrete udova koji im omogućuju napredovanje kopnom. Ljudska bića nemaju tu sreću. Njihova je metoda napredovanja kopnom visokospecijalizirani dvonožni način koji ne bi djelovao u vodi. U vodi, ljudska se bića moraju vratiti četvoronožnom držanju tijela i upotrijebiti sva četiri uda. To je nešto što se mora naučiti.

No, kad se jedanput nauči, plivanje je ugodna aktivnost i mnogi se ljudi njime bave kad god mogu.

Čovjek može plivati potpuno zagnjuren pod vodom. Neka osoba može bućkati ispod površine, ili zaroniti iz visine. Ljudsko biće, međutim, nije nipošto valjano adaptirano za tu svrhu. Ljudi mogu ostati pod vodom samo toliko koliko mogu zadržati dah, a to je, čak i uz vježbu, vrlo ograničeno vrijeme.

Za prosječno ljudsko biće, ostajanje ispod vode u trajanju od jedne minute težak je zadatak. Stručnjaci, poslije znatna vježbanja, mogu postići možda dvije i pol minute. Ronjenje koje traje pet minuta za svakoga je fatalno. Mozak do tada potroši raspoloživu zalihu kisika i ostaje trajno oštećen.

Kopnene životinje mogu, naravno, biti daleko bolje prilagođene životu u vodi. Kopnene životinje najbolje prilagođene toj svrsi jesu kitovi i njihovi rođaci. Oni su toliko prilagođeni da, iako su se razvili od kopnenih predaka, ne mogu više živjeti izvan vode. Kitovi nose svoje kopneno podrijetlo u znatnome dijelu svoga oblika i funkcioniranja; primjerice, oni imaju pluća i udišu zrak iako nikad nisu izvan vode. Međutim, oni nisu, poput nas, osuđeni na površinu. Ulješura, najveći od zubatih kitova, može ostati pod vodom do sat i četvrt, dok postoje izvještaji da je mnogo manja kljunata ulješura ostala ispod vode do dva sata.

Ljudsko biće ne može roniti vrlo duboko jer se pritisak vode naglo povećava s dubinom i brzo postavlja granicu čovjekovoj izdržljivosti. Ako su, međutim, nagrade velike, ljudska bića potiskuju te granice. Lovci na biserje koji skupljaju školjke s dna plitkih mora mogu se prisiliti na spust od petnaest ili više metara i ostati pod vodom dvije minute prije no što se vrate na površinu po novi zrak. Štoviše, oni su to činili u prvim danima civilizacije, u Sredozemnome moru i Perzijskom zaljevu. Suvremeni izvještaji govore o nezaštićenim ljudima koji su se spustili do dubine od čak 30 metara — no ulješura može zaroniti čak 900 metara duboko u potrazi za hranom.

Ljudska bića mogu unaprijediti svoje održavanje ispod vode upotrijebe li svoju inventivnost. Hermetično, prozirno pokrivalo za lice, iako ne dobavlja zrak, može barem zaštiti oči i olakšati gledanje. Prozirne štitove od tanke kornjačevine, vrlo primitivne prema suvremenim standardima no upo-

trebljive, već su 1300-tih godina izumili ronioci u Perzijskom zaljevu.

Staklene zaštitne maske ušle su u upotrebu već 1860-ih godina. Oko 1930-ih godina počele su se upotrebljavati kratke cjevčice kojih je jedan kraj bio u ustima a drugi je stršao iznad površine vode (takozvane dihalice, što je izvedeno od jedne njemačke riječi), a to je omogućavalo disanje dok je čovjek ispod vode. To, međutim, nije omogućavalo velike dubine, jer je pritisak vode na vanjsku stranu grudnoga koša bio veći od pritiska zraka unutar grudnog koša, a čak je i na manjim dubinama postajalo nemoguće proširiti grudni koš i udahnuti zrak nasuprot pritisku vode.

Gumene nožne peraje uđoše u upotrebu 1933. godine. Maske, dihalice i peraje omogućavale su plivačima da se dulje i djelotvornije kreću pod vodom uz pomoć najjednostavnijeg zadržavanja daha. No, plivati se moglo samo neposredno ispod površine. Izraz »površinsko ronjenje« koji se upotrebljava za takve aktivnosti naznačuje da se one odvijaju tek neposredno ispod površine vode.

Tijekom drugoga svjetskog rata, ronioci s maskama za lice i perajama izviđali su obale i pričvršćivali eksplozive na plovila ispod vodene linije. Takve »ljude-žabe« prva je upotrijebila talijanska vojska, a zatim i ostali.

Ono što, međutim, postade doista potrebnim, bilo je omogućiti da podvodni plivač postane neovisan o površinskom zraku, barem neko određeno vrijeme. U toku drugoga svjetskog rata površinski su ronioci počeli nositi cilindre s komprimiranim zrakom koji se mogao izdisati u spremnike s kemikalijama što su apsorbirale ugljični dioksid te je na taj način izdahnuti zrak opet postajao prikladan za udisanje. Takve je sisteme prvi razvio 1943. francuski pomorski oficir Jacques-Yves Cousteau (1910—). Nazvani su »vodenim plućima«, a sam sport koji je postao vrlo popularan poslije rata nazvan je »scuba ronjenje« (riječ »scuba« je akronim izveden od engleskih riječi »self-contained underwater breahing apparatus« — kompletan aparat za podvodno disanje).

Uvježbani ronioci s aparatom za kisik mogu postići dubine od 60 metara i ostati na njima neko vrijeme. Međutim, pri većim pritiscima vode, dušik se rastvara u krvi u većim količinama nego pri normalnom pritisku zraka pa to može na kraju dovesti od određene vrste intoksikacije koja mami ro-

nioca da ode još dublje ili ostane ispod površine predugo, a posljedica može biti smrt.

Pa ipak, dubina od 60 metara vrlo je mala u usporedbi s ukupnom dubinom oceana te se najbolji ronilac s aparatom za kisik još uvijek nalazi tek u površinskom sloju mora.

VODENE DUBINE

Prvi izraz znatiželje za koji znamo u vezi s većim dubinama oceana potječe od grčkog filozofa Posejdonija. Pretpostavlja se da je on oko 100 godina pr. n. e. izmjerio dubinu Sredozemnog mora neposredno uz otok Sardiniju, objavivši da ta dubina iznosi 1,8 kilometara izraženo u suvremenim mjerama.

To je ostao usamljeni pokušaj, ako i jest nešto više od puke priče. Tek u 1700-tim godinama znanstvenike je počela zanimati dubina mora, a i tada ponajprije poradi zanimanja za život u moru.

Kako su bili mogli promatrati oblike života ispod površine oceana? Teško da su mogli mnogo postići roneći na kratke udaljenosti i razgledavajući kroz kratko vrijeme. Zašto ne bi primijenili obratan postupak te iznijeli žive organizme iz dubina na površinu?

Danski biolog Otto F. Muller (1730—84) izmislio je 1770-ih godina jaružar. Bila je to čvrsta mreža pričvršćena o željezni okvir koja se mogla povlačiti mnogo metara ispod vodene površine. Živi organizmi upleli bi se u njezina oka i tako se izvlačili van.

Osoba koja je osobito uspješno upotrebljavala jaružar bio je engleski biolog Edward Forbers ml. (1815—54). Tijekom 1830-ih godina Forbes je jaružao morska živa bića iz Sjevernoga mora i ostalih voda oko Britanskih otoka. Tada se, 1841, ukrcao na jedan vojni brod koji je plovio u istočno Sredozemlje, gdje je obavio opsežnije i bolje jaružanje od ma koga prije njega, proučavajući sve vrste živih bića što bi ih izvukao. Primjerice, izvukao je jednu morsku zvijezdu s dubine od 400 metara.

Biljni svijet može živjeti samo u najgornjim slojevima oceana, jer se sunčeva svjetlost ne može probiti dublje od otprilike 75 metara. Životinjski svijet ne može živjeti osim (u krajnjoj instanci) prehranjujući se biljnim svijetom. For-

besu se, shodno tome, činilo da životinjski svijet ne bi mogao dugo opstati ispod razine na kojoj se nalazi bilje. Zapravo, smatrao je da je 400 metara, odakle je izvukao svoju zvjezdaču, otprilike granica života u moru te da je na razinama ispod 400 metara ocean pust i beživotan.

No kad je to zaključio, pojaviše se dokazi o suprotnom.

James Clark Ross koji je istraživao obale Antarktike 1841. godine (vidi prethodno poglavlje), nakanio je učiniti više od samog naznačavanja obrisa oblika tih obala. Pokušavao je također otkriti sve o oceanu uz te obale.

Zanemarimo li dvojbenu priču o Posjedoniju, Ross je bio prvi čovjek koji je pokušao odrediti kako bi dubok mogao biti ocean. On je spustio dugačko, opterećeno uže, nadajući se da će pogoditi dno. On je također upotrijebio jaružar dublje nego itko prije i izvukao sve vrste morskih oblika života s dubine od čak 730 metara, znatno ispod Forbesove granice.

Rossov izvještaj imao je u ono vrijeme malo utjecaja, no nekoliko godina kasnije zbilo se nešto drugo što naizgled nije bilo uopće s tim povezano, ali što je dalo novi zamah istraživanjima dubokog mora.

Godine 1844, američki izumitelj Samuel F. Morse (1791—1872) konstruirao je prvu telegrafsku liniju. Ona je vodila od Baltimorea u Marylandu do Washingtona D. C., na udaljenosti 65 kilometara, i prvi su put komunikacije postale u biti trenutačne.

Telegraf je bio jednostavan izum (kad je jedanput pronađen) i mogao je širiti svoje krake uz relativno mala ulaganja. Industrijski svijet Evrope i Sjeverne Amerike brzo je bio međusobno povezan povjesmima žica pričvršćenim o stupove zabijene u tlo.

Neka su mjesta, međutim, bila razdvojena vodom pa telefonske stupove nije bilo lako usaditi preko rijeka i oceanskih tjesnaca. Jedno je rješenje bilo da se žice obaviju nepromočivim omotačem te da se od njih naprave »kabeli«. Ti su se kabeli zatim mogli položiti na dno nekog vodenog pojasa.

Kabeli su, primjerice, položeni na dna rijeka Hudson i Mississippi 1840-ih godina. Tijekom 1850-ih kabeli su položeni na dno La Manchea i Irskog mora. To je Englesku telegrafom povezalo s Irskom i Francuskom.

Velik je pothvat, međutim, bilo rastegnuti kabel preko gotovo 5.000 kilometara Atlantskog oceana, da bi se povezale Evropa i Sjeverna Amerika.

To je moglo postati vrlo značajnim. U prosincu 1814. Velika Britanija i Sjedinjene Države potpisale su mirovni ugovor u Ghentu u Belgiji, čime je okončan rat od 1812. godine. Vijesti o miru, međutim, nisu mogle stići do Sjedinjenih Država sve dok brod s tim novostima nije preplovio Atlantski ocean — a za to je trebalo šest tjedana. Prije nego što je brod stigao do Sjedinjenih Država, 8. siječnja 1815. vodila se Bitka kod New Orleansa. Bila je to najveća i najkrvavija bitka cijelog toga rata, no vodila se kad je rat već bio završen. Kad je položen kabel preko Atlantskog oceana, nikad se više nije moglo dogoditi nešto takvo.

Američki financijer Cyrus West Field (1819—92) odlučio je položiti kabel preko Atlantskog oceana. On je 1854. osnovao jednu američku kompaniju posvećenu skupljanju novca za taj zadatak i obavljanju nužnih poslova. Britanski znanstvenik William Thomson, lord Kelvin (1824—1907) pozabavio se znanstvenim aspektima toga pothvata, pronalazeći načina da se signali periodički pojačavaju kako bi mogli podnijeti prekooceansku transmisiju, a da pri tome ne budu svedeni tek na šaputav iskrivljen šum.

Kabel je konačno položen do 1858, vodeći od Newfoundlanda do Irske, pa su predsjednik Buchanan i kraljica Victoria mogli razmijeniti pozdrave. Međutim, izolacija je ubrzo propala i kabel je bio neupotrebljiv.

Neslomivi Field, untoč tome i unatoč gubitku svoga imetka (stečena u poslovima s papirom) započeo je sve ponovno. Taj je put imao pomoć *Great Easterna,* prvog parobroda koji se mogao smatrati velikim oceanskim linijskim brodom u suvremenom smislu. Bio je dugačak 211 metara, mnogo dulji i veći od svih postojećih brodova 1858, kad je porinut u more. Bio je, zapravo, ispred svoga vremena i nikad nije mogao prijeći Atlantik s punim teretom. Bio je tehničko čudo, ali ekonomska katastrofa. Napokon je, međutim, pronašao posao za koji je točno i bio — prevoženje tona i tona kabela koji će se položiti na oceansko dno.

Godine 1866. položen je prvi trajni kabel. Slijedili su drugi, sve dok napokon ni Atlantski ocean niti ijedan drugi nisu više predstavljali barijeru električnome komuniciranju.

Sve je to djelovalo na znanstveno poznavanje oceanskih dubina. Ako je kabel valjalo postaviti na morsko dno, moralo je postojati neko znanje o tome kako je duboko to morsko dno, koliko može biti ravno ili neravno te bi li neka ruta mogla biti bolja od druge.

Pravi čovjek za taj posao bio je oficir američke ratne mornarice Matthew Fontaine Maury (1806—73). Umirovljen nakon jedne nesreće poštanske kočije 1839. i prisiljen na obavljanje činovničkih poslova, počeo je proučavati oceanske vjetrove i struje, što ga je učinilo »ocem oceanografije«.

Njegov udio u velikom projektu polaganja kabela postade 1850. određivanje morskih dubina i pripremanje pomorske karte koja bi prikazala profil morskog dna. U ono vrijeme, jedini način da se izmjeri dubina vode na moru bilo je spuštanje dugačkog konopa sve dok ne dopre do dna i zatim mjerenje da se vidi koliko je bilo spušteno.

To nije bio lagan posao. Ocean je bio toliko dubok da je konop potrebne dužine bio težak i nespretan za baratanje. Štoviše, trebalo je mnogo vremena da se konop spusti i zatim opet izvuče, a uz to se nikad nije moglo sigurno znati je li bio doista okomit — zbog oceanskih struja moglo se dogoditi da visi koso te da pokaže dubinu veću od stvarne. Zatim, uvijek je postojala mogućnost da konop utone u kakvu rupu znatno nižu od glavnog oceanskog dna uokolo, ili da pogodi vrh kakve uzvisine znatno više od toga dna. Općenito se držalo da je oceansko dno, u cjelini, jednolično. Držalo se da gibanje vode otplahnjuje neravnine, a naslage taloga ispunjavaju udubine. Relativno malobrojna mjerenja koje je Maury bio u stanju nadzirati nisu učinila, a nisu ni mogla mnogo učiniti da se pokoleba takvo stajalište.

Pa ipak, do 1855. Maury je otkrio da je Atlantski ocean, kako se činilo, izrazito plići u središtu nego na stranama. To je središnje plitko područje Maury nazvao Telegrafski ravnjak, u čast kabela koji je trebao prenositi telegrafske poruke preko oceana.

Jedan od brodova zaposlen na mjerenju dubina (ili »sondiranju«) bio je britanski *Bulldog* koji je zaplovio 1860. Na brodu je bio i britanski liječnik George C. Wallich (1815—99) koji bijaše zadužen za sva eventualna otkrića o životu u moru. U listopadu je promatrao kako se konop izvlači na palubu, na jednom mjestu u Atlantskom oceanu otprilike na

pol puta između sjevernog vrha Škotske i južnog vrha Grenlanda.

Konopac za mjerenje dubine spustio se do 2.300 metara, a kad je izvučen, blizu njegova donjeg kraja pronađeno je trinaest zvjezdača. Štoviše, nisu to bile uginule zvjezdače koje su potonule na morsko dno. Bile su posve žive.

Wallich je o tome odmah izvijestio, tvrdeći da životinjski svijet može opstojati u hladnim tminama dubokog mora, čak i bez biljaka.

Biolozi su se i dalje skanjivali povjerovati u to pa se tog predmeta prihvatio škotski biolog Charles W. Thomson (1830—82). On se 1868. uputio na Atlantik brodom koji se zvao *Lightning.*

On je tada doista riješio tu stvar. Jaružajući kroz duboke vode, izvukao je životinje svih vrsta te su sve rasprave okončane. Forbesova zamisao o nižoj granici života se rasplinula.

Thomson je došao do osobito značajnog otkrića mjereći temperaturu vode na različitim dubinama. Do tada se smatralo da voda u morskim dubinama ima svuda 4°C; pri toj temperaturi voda je najgušća pa prirodno teži prema dnu. Thomson je, međutim, pokazao da temperatura vode na određenoj dubini varira na različitim mjestima. Na nekim je mjestima bila nešto malo toplija od 4°C.

Odakle je dolazila ta voda? Činilo se vjerojatnim da je dolazila iz gornjih slojeva koje je zagrijavalo sunce. To je značilo da moraju postojati vodene struje koje odnose vodu s površine oceana u dubine. Shodno tome, moraju postojati i druge struje koje dovode vodu iz dubina na površinu. Drugim riječima, voda je cirkulirala cijelim oceanom, a time je i zamisao o životu u oceanskim dubinama počela dobivati smisao.

Voda na površini oceana rastvara kisik iz zraka. Životinjski svijet u moru živi zahvaljujući tome rastvorenom kisiku. Oceanske struje odnose taj rastvoreni kisik sve do samoga dna pa životni oblici mogu dobiti potreban kisik na svim dubinama.

Životinje u dubini mogu pribaviti i hranu, čak i u odsutnosti bilja. Kad neka životinja jede neku biljku ili životinju, komadići tog objekta jedenja mogu se otkinuti i tonuti nadolje. Ponekad bilje ili životinje u površinskim slojevima mogu uginuti a da ih nitko ne pojede te se spustiti u dubinu. Dok ta nekad živa tvar tone, dohvaćaju je i jedu životinje na

nižim razinama vode, koje i same pridonose stvaranju čestica. Konačno čestice, koje na svim razinama životinje stvaraju ili koje nastaju od njih, dopiru do dna oceana.

Kad bi to bilo sve, tada bi sve kemikalije u površinskim slojevima vode koje omogućuju život postupno bile prenijete na oceansko dno. Površinski bi slojevi bili iscrpljeni i život bi na površini izumro, a s njim i život u dubinama kao i život na kopnu. Međutim, oceanske struje koje odnose kisik s površine do morskoga dna također, u povratku, odnose kemikalije s morskoga dna do površine, tako da se život nastavlja.

Thomson je 1869. isplovio s drugim brodom, *Procupine*, i uspio jaružati sve do 4.400 metara dubine te je čak i tamo pronalazio različite vrste životinja. Bio je siguran da život postoji sve do samoga dna oceana, ma kako to duboko moglo biti. Čvrsto je nakanio organizirati sveobuhvatnu ekspediciju koja je trebala posjetiti sve oceane svijeta.

Thomson je krenuo 7. prosinca brodom *Challenger* i ostao je na moru tri i pol godine. *Challenger* je preplovio sve oceane, ukupno 125.000 kilometara. Dubina oceana izmjerena je na 362 različita mjesta. U Pacifičkom oceanu koji se pokazao najdubljim kao i najvećim, na nekim je mjestima dno bilo 7,25 kilometara ispod površine. Čak i s najdubljih dijelova oceana, na površinu su izvlačeni živi organizmi.

MORSKO DNO

Čak ni *Challengerovo* monumentalno ostvarenje nije učinilo mnogo, ono je tek pribavilo najosnovnije obrise geografije morskoga dna. Ona 362 mjerenja predstavljala su jedno mjerenje na 1,000.000 četvornih kilometara oceana. Da bismo dobili neki pojam o tome što bi to moglo značiti za određivanje konfiguracije morskoga dna, zamislimo kakva bi mogla biti reljefna karta Sjedinjenih Država kad bi zemljopisci imali podatke o visini sedam nasumce odabranih točaka u zemlji i ništa više na što bi se oslonili.

Ništa se drugo nije ni moglo očekivati tako dugo dok je stupanj toga umijeća ostao kakvim je bio. Prosuđivanje dubina puštanjem da opterećeni konop padne u more bio je previše dugotrajan, pretežak i previše nespretan. On nikad

ne bi mogao zadovoljiti. Srećom, stupanj tog umijeća nije ostao kakvim je bio.

Zvuk putuje velikom brzinom, 331 metar na sekundu ili 1.192 kilometra na sat u standardnim uvjetima. Uz to, zvuk se pri stanovitim okolnostima može reflektirati, kao što saznajemo svaki put kad čujemo jeku povika odbijenog od kakve litice. Zvučni val može, recimo, putovati tri kilometra i odbiti se, a jeka se potom može otkriti osamnaest sekundi kasnije. Dapače, prema vremenu između prvobitne emisije signala i detekcije jeke može se odrediti udaljenost objekta od kojeg se signal odbio.

Što je kraća valna dužina zvuka, to će se on efikasnije odbiti. Najbolji se rezultati postižu sa zvučnim valovima kojih su valne dužine prekratke da bi ih moglo čuti ljudsko uho (»ultrazvuk«).

Godine 1880, francuski kemičar Pierre Curie (1859—1906) sa svojim je bratom Jacquesom razradio prikladan način za stvaranje ultrazvučnih valova, izlaganjem kristala oscilirajućoj električnoj struji. Tijekom prvoga svjetskog rata, 1917, Curieov učenik, francuski fizičar Paul Langevin (1872—1946), pronašao je metodu za odašiljanje snopa ultrazvuka i određivanje jeke. Riječ je o »eho-lokatoru« ili »sonaru«, pri čemu je potonji izraz akronim izveden od engleskih riječi »sound navigation and ranging«, gdje »ranging« znači »određivanje udaljenosti«.

Neposredna svrha Langevinova izuma bilo je otkrivanje neprijateljskih podmornica, no do trenutka kad je uklonio i posljednje teškoće koje su stajale na putu takvoj upotrebi, rat je završio.

Sonar se, međutim, mogao upotrijebiti za značajnije zadatke u vrijeme mira. Mogao se upotrijebiti za mjerenje udaljenosti do morskog dna za samo nekoliko sekundi, bez straha od izobličavajućeg utjecaja struja. Štoviše, on je mogao pružati neprekidan izvještaj o svakom djeliću dna iznad kojeg je plovio brod. Za pet minuta moglo se skupiti više pojedinosti no što je uspjelo *Challengeru* za vrijeme cijeloga njegova putovanja.

Prvi brod koji je upotrijebio sonar na taj način bio je njemački oceanografski brod *Meteor* koji je proučavao Atlantski ocean 1922. godine. Ubrzo je postalo očito da oceansko dno nije nipošto jednoliko i ravno te da Telegrafski ravnjak ne predstavlja blagi uspon i pad. Telegrafski ravnjak

bio je planinski lanac, duži i izbrazdaniji od svih planinskih lanaca na kopnu. On krivuda cijelom dužinom Atlantika, a a njegovi najviši vrhovi probijaju se kroz površinu vode i pojavljuju kao otoci, kao što su Azori, Ascension i Tristan da Cunha.

Kasnija mjerenja dubina pokazala su da taj planinski lanac nije ograničen samo na Atlantski ocean. Na južnom se kraju svija oko Afrike i penje zapadnim Indijskim oceanom do Arabije. U sredini Indijskog oceana se grana, tako da se lanac nastavlja južno od Australije i Novog Zelanda pa potom vraća na sjever u velikome krugu uokolo Pacifičkog oceana. Ono što je u svijesti čovjeka započelo kao Srednjoatlantski hrbat, ubrzo je postao Srednjooceanski hrbat.

Poslije drugoga svjetskog rata, detalje oceanskog dna istraživala su s novom snagom dva američka geologa, William Maurice Ewing (1906—74) i Bruce C. Heezen (1924—77). Detaljna mjerenja dubine 1953. otkrila su duboki kanjon koji se proteže duž hrpta i točno pokraj njegova središta. To je bio početak poimanja o tome da se Zemljina kora raskolila na određen broj velikih »ploča« koje su se polako gibale jedna u odnosu na drugu. To je bio temelj »tektonike ploča« koja je revolucionirala geologiju, pokazujući kako su nastanak planina, vulkani i potresi, pa čak i tok biološke evolucije, ovisili o polaganom gibanju tih ploča.

Nova saznanja o oceanima objašnjavaju u novom, točnijem svjetlu poznatu geografiju kopna. Primjerice, Mt. Everest kojega visina iznosi 8.847 metara iznad morske razine, najviša je planina na Zemlji — mjerimo li od razine mora. Mt. Everest, međutim, stoji na Tibetskoj visoravni koje je prosječna visina 4.800 metara iznad razine mora. Kad bi se Mt. Everest mjerio od svoje baze a ne od teorijske razine mora, tada je njegova visina samo oko 4.000 metara.

Razmotrimo, nasuprot tome, otok Havaje koji je u biti planina što se uzdiže iznad vode. Njegov najviši vrh, Mauna Kea, doseže samo 4.205 metara iznad morske razine, no on stoji na morskome dnu Pacifika i najveći njegov dio skriva ocean. Od baze do vrha Havaji su visoki 10.000 metara i, na toj osnovi, najviša su planina na svijetu.

Ako bismo mogli zamisliti suhu Zemlju, praznih oceanskih bazena, uzdizanje Havaja s toga suhog dna bilo bi nezamislivo impresivno te bi se bez teškoća moglo vidjeti kako

je to najveća i najviša od svih zemaljskih planina. (Pa ipak, unatoč tome, na Havaje se ne bi bilo tako teško popeti kao na Mt. Everest jer ovaj potonji, viši u odnosu na morsku razinu, imao bi mnogo hladniji vrh, uronjen u mnogo rjeđi zrak nego vrh Havaja.)

U oceanu također postoje duboki ponori, golemi »jarci«, u usporedbi s kojima je Grand Canyon ogrebotina na tlu. Ti ponori, gdje je morsko dno mnogo dublje od prosječne dubine oceana, oceanski su ekstremi.

Ukupna površina tih jaraka, koji su svi smješteni duž otočnih lanaca, obuhvaća gotovo jedan posto oceanskog dna. To možda ne izgleda mnogo, ako se izrazi na ovaj način, no to je zapravo jednako polovici površine Sjedinjenih Država.

Jedan jarak postoji uzduž Indonezijskih otoka u Indijskom oceanu. U Atlantskom oceanu, jarci postoje pokraj Kariba i južnih otoka Sandwich. Najdublji jarci, nimalo iznenađujuće, nalaze se u divovskom Pacifičkom oceanu, gdje su otkriveni pokraj Filipina, Solomonskih otoka, Kurila, Aleuta i Marianskih otoka.

Prosječna dubina Pacifičkog oceana iznosi oko 4.250 metara, no dubina jaraka je otprilike dvostruka. Godine 1951, britanski oceanografski brod *Challenger II* otkrio je da je Marianski jarak najdublji. On je pronašao njegov najdublji dio (koji se danas zove Dubina Challenger) i izmjerio tamo dubinu koja iznosi 10.900 metara. Jedan sovjetski oceanografski brod izvijestio je 1959. da na drugome mjestu Dubina Challenger dopire do 11.033 metra.

Najdublja je oceanska dubina, prema tome, znatno niže ispod razine mora nego što je najviši planinski vrh iznad te razine. Zamislimo li da se Mt. Everest, zajedno s bazom na kojoj stoji, smjesti u Dubinu Challenger, preko njegova bi se vrha prelilo 2.186 metara oceanske vode, pa se prije prvoga svjetskog rata ni samo njegovo postojanje ne bi očekivalo, osim ako kojom srećom ne bi bilo obavljeno neko mjerenje točno iznad njega. Čak se ni najviši vrh Havaja ne bi izdizao iznad površine Pacifika kad bi oni stajali u Dubini Challenger.

Ukupna okomita udaljenost između najdublje dubine i najviše visine iznosi, prema tome, 19.880 metara, i ljudska su bića to sada u stanju izmjeriti. Ako postoje neki dijelovi kopna ili morskoga dna kojima nije izrađen detaljan tloris, to je

samo zato što još nije bilo vremena ili prilike da se to učini. Ako se pažnja pokloni nekome određenom mjestu koje nedostaje, posao se može obaviti bez problema.

PLOVILA DUBINA

Izmjeriti dubinu jedna je stvar. Poslati ljudska bića u takve dubine nešto je posve drugo, i k tome mnogo teže. Istraživanje oceanske dubine teže je od uspona na planine, primjerice, već i zato što je voda još manje pogodna za disanje od rijetkog zraka.

Aparat za ronjenje s kisikom dostaje samo za područja neposredno ispod površine. Ronilačka odijela s hermetičkim kacigama u koje se crpi zrak teško da su što bolja ukoliko je riječ o dubinama, a mnogo su nespretnija za manevriranje.

Ronilačka zvona ili »kesoni« mogu se upotrijebiti za rad pod vodom. U biti, to su tvorevine zatvorene na vrhu i otvorene pri dnu. Voda koja ulazi u njih sprečava izlazak zraka. Mogu se upotrijebiti naprave za obnavljanje zraka, no zrak se mora komprimirati sve dok njegov pritisak ne bude jednak pritisku okolne vode.

Kao što je već spomenuto, dušik pod pritiskom rastvara se u tjelesnim tekućinama u većem opsegu nego pod normalnim uvjetima. Ako se potom pritisak naglo smanji — naime, ako nekoga tko je bio u dubini jednostavno izvuku — dušik postaje manje topiv sa smanjenjem pritiska i izbija u mjehurićima iz otopine, skupljajući se u zglobovima i malim krvnim žilama. To izaziva strašne bolove i, ponekad, smrt. Takva »kesonska bolest«, ili »dekompresijska bolest«, može se liječiti samo rekompresijom kako bi se dušik ponovno rastvorio, a zatim vrlo polaganom dekompresijom, kako bi se mjehurići dušika mogli stvarati vrlo sporo i postupno uklanjati iz pluća. Bolje je potpuno spriječiti tu bolest, odmah započinjanjem vrlo polagane dekompresije.

Rizik kesonske bolesti nešto se smanjuje ako se upotrijebi umjetna plinska smjesa helija i kisika, jer se helij rastvara u tjelesnim tekućinama u znatno manjem opsegu od dušika. Pa ipak, upotreba komprimiranog zraka povećava opasnosti rada pod vodom i, naravno, ograničava dubinu do koje se može doprijeti.

Potrebno je dakle plovilo zatvorenih stijenki, sposobno da izdrži pritisak vode, koje može sadržavati zrak pri normalnom pritisku. Ako se takvim brodom može i upravljati, nastaje »podmornica«.

Koncepcija je posve prirodna i mnogi su je ljudi imali na umu na početku modernih vremena. Drži se da je nizozemski izumitelj Cornelius Drebbel (1572—1634) prvi doista i sagradio jednu podmornicu. Izradio ju je od namašćene kože iznad drvena okvira, i između 1620. i 1624. godine upravljao je njome četiri ili pet metara ispod površine rijeke Temze.

Najsnažniji poticaj opetovanim pokušajima da se sagradi podmornica, jest njezina nedvojbena korisnost u ratu. Ispod vode, takvo bi plovilo bilo nevidljivo i moglo bi se nezapaženo približiti neprijateljskom brodu te, primjerice, pričvrstiti eksploziv na nj ispod linije vode.

Tako je jedan američki izumitelj, David Bushnell (1742—1824) sagradio podmornicu za jednog čovjeka tijekom američke revolucije i pokušao njome potopiti jedan britanski ratni brod u newyorškoj luci. Podmornica je bila drvena i pokretala se propelerom koji se iznutra okretao rukom. Naprava je dosta dobro radila, no Bushnell nije mogao probiti bakrenu oplatu oko korita svoga plijena. Pokušao je ponovno za vrijeme rata 1812. u luci New Londona, Connecticut, no i opet nije uspio.

Robert Fulton (1765—1815) koji će kasnije, 1807, steći slavu kao konstruktor prvoga parobroda dovoljno uspješnog da osigura prevlast snage vodene pare na vodi, prije toga radio je na podmornici koju nazvaše *Nautilus*.

On je prvi za tu svrhu upotrijebio metal, gradeći svoje plovilo od bakrenih ploča iznad željeznih rebara. Napravio ju je dovoljno velikom da bi u nju mogao smjestiti zalihu zraka dostatnu za četiri čovjeka i dvije svijeće tijekom tri sata. Imala je stakleni okrugli prozorčić za promatranje i, kao i u Bushnellovu slučaju, rukom pokretani propeler za pogon.

Sagradio ju je 1800. godine, kad su Francuska i Velika Britanija bile u ratu, i francuski diktator Napoleon Bonaparte neko je vrijeme bio za nju zainteresiran. Nažalost, dok je Fultonova podmornica mogla lako potopiti svaki britanski brod, nije se dovoljno brzo kretala da bi neki mogla i uhvatiti pa je Bonaparte izgubio zanimanje. Fulton nije zainteresirao ni Britance kojima se potom obratio.

Fulton se vratio u Sjedinjene Države i namjeravao sagraditi parnu podmornicu dovoljno veliku da poveze sto ljudi, no umro je prije no što je plovilo moglo biti završeno.

Za vrijeme američkog građanskog rata, Konfederacija je, suočena s tijesnom blokadom vojske Unionista, tražila najrazličitije načine da razbije tu blokadu. Jedan od njih bila je gradnja podmornica, projekt što ga je vodio Horace Lawson Hunley (1823—63) iz Alabame. Sagrađene su tri podmornice koje su pretrpjele niz neuspjeha, a za jednoga je od njih umro i sam Hunley.

Treća podmornica, nazvana *Hunley*, nastavila se upotrebljavati poslije Hunleyjeve smrti. Konačno je, 17. veljače 1864, ostvarila prvo potapanje broda koje se pripisuje podmornici. Uspjela je potopiti unionistički ratni brod *Housatonic* u luci Charlestona u Južnoj Karolini, uz gubitak pet ljudi. Eksplozija je, međutim, uništila također podmornicu i njezinu posadu.

Francuski pisac znanstvene fantastike Jules Verne (1828—1905) sagradio je najglasovitiju podmornicu svih vremena — iako samo u literarnu obliku — u svome romanu *Dvadeset tisuća milja pod morem* objavljenom 1870. godine. On je bio pratio razvoj američkog građanskog rata i lako je moguće da su ga pokušaji Konfederacije da sagrade podmornice inspirirali pri stvaranju vlastitog glasovitog *Nautilusa* (istoga imena što ga je Fulton upotrijebio za svoju podmornicu sedam desetljeća prije).

Podmornice nisu mogle biti doista praktične sve dok se ne mogaše pronaći neki način da se pokreću drukčije, a ne propelerom koji se okretao rukom. Parni stroj zapravo se ne bi mogao upotrijebiti ispod vode, zato što bi pogon morao dobivati sagorijevanjem goriva, a to bi brzo iscrpilo zrak u podmornici. Bio je potreban motor na električni pogon koji bi se napajao akumulatorima.

Prva električna podmornica i opet je nazvana *Nautilus*, a sagradila su je 1886. dva Engleza. Akumulator je, naravno, trebalo periodički nanovo puniti, a plovilo se između dva punjenja moglo kretati otprilike 130 kilometara.

Nakon toga su sagrađene mnoge podmornice koje su koristile parni pogon i, kasnije, dizelske motore kad su plovile površinom, a električnu energiju kad su bile zaronjene. Američki inženjer Simon Lake (1866—1945) sagradio je 1897. podmornicu *Argonaut*. Ona je plovila od Norfolka u Virginiji

do New Yorka vlastitom energijom i bila je prva podmornica koja je uspješno operirala na otvorenu moru.

Do trenutka kad je započeo prvi svjetski rat, sve su velike evropske sile imale podmornice. Od 1914. do 1945. podmornice su se kontinuirano usavršavale i upotrebljavale su se gotovo isključivo za rat ili ratne pripreme. Pa ipak su u cijelom tom razdoblju ostale u biti površinska plovila. One su mogle zaroniti na određeno vrijeme, no redovito su morale često izranjati da bi ponovno napunile akumulatore.

Fundamentalni napredak nastao je 17. siječnja 1955, kad je lansirana prva nuklearna podmornica. Bio je to (opet) *Nautilus*, a velika je njezina prednost pred nenuklearnim podmornicama bila u tome što se izvor pogonske energije nije iscrpljivao kroz dugo vremensko razdoblje pa je mogla ostati ispod vode mjesecima, ako je bilo potrebno. Rusi su sagradili svoju prvu nuklearnu podmornicu 1960, Britanci 1963, a Francuzi 1969. godine. Nuklearni reaktori na tim podmornicama mogli su biti u pogonu 640.000 kilometara (šesnaest opsega Zemlje) prije no što se morao obaviti generalni remont.

Nenuklearne podmornice mogu doprijeti do čak 2.500 metara dubine, mnogo dublje od svakog kita, dok bi se nuklearne podmornice mogle spustiti i do dubina većih od 6.000 metara.

Sposobnost podmornica da prodiru u dubine posve je uzgredna, jer je njihova osnovna funkcija ratovanje. No još i prije nego što su podmornice bile opremljene nuklearnim reaktorima, gradile su se naprave kojih je jedina svrha bilo proučavanje oceanskih dubina. Pionir u tom pogledu bio je američki prirodoslovac Charles William Beebe (1877—1962) koga su zanimali koralji te ih je želio slijediti do njihovih skrovišta duboko ispod površine oceana.

On je konstruirao vodonepropusnu kuglu od debela metala, s prozorom od debelog kvarca, koja će biti u stanju izdržati ogromne pritiske duboke vode. Bila je kuglasta oblika radi maksimalne snage (na prijedlog guvernera New Yorka Franklina Delanoa Roosevelta, Beebeova prijatelja). Imala je komprimirani kisik i kemikalije za apsorbiranje ugljičnog dioksida.

Beebe ju je nazvao »batisferom«, prema grčkim riječima koje znače »kugla dubine«. Batisfera nije bila pokretljiva. Bio je to jednostavno zračni mjehur obavijen metalom, jedva

dovoljno velik za dva čovjeka. Bila je metalnim kabelom obješena o brod na površini. Ako bi oluje, vjetrovi i valovi oštetili brod, ili ako bi se dogodilo nešto drugo što bi moglo prekinuti kabel, batisfera bi pala na dno oceana i nitko u njoj vjerojatno ne bi mogao preživjeti.

Beebe i njegov partner Otis Barton ipak su okušali sreću. Za prvog zaronjavanja, 11. lipnja 1930, doprli su do dubine od 400 metara. Godine 1932. dosegli su 920 metara duboko. Beebe se ukupno spustio u more više od trideset puta i potom je napustio taj posao kao neplodan ukoliko je riječ o nekim novim značajnim podacima.

Barton je, u jednoj modificiranoj batisferi, zaronio do dubine od 1.370 metara 1948. godine.

Bila je, očito, potrebna batisfera koja bi se mogla pokretati. Ponajprije, ona bi morala plutati unatoč teškome metalu potrebnom radi odolijevanja pritisku vode. Švicarski fizičar Auguste Piccard (1884—1962) koji je upoznao Beebea 1933, zamislio je kombinaciju batisfere s principom balona. Baloni su lebdjeli uz pomoć volumena plina lakšeg od zraka. Tražila se batisfera koja bi lebdjela uz pomoć volumena neke tekućine lakše od vode. Piccard je za tu svrhu upotrijebio benzin, smjestivši ga u plovak u obliku broda, dovoljno velik da ponese i poništi težinu kuglaste batisfere čvrsto usađene u njegovo dno.

Rezultat je bio »batiskaf« (»brod dubine«). Plovak u obliku cigare sadrži trinaest rezervoara, od kojih je jedanaest napunjeno benzinom a dva su prazna. Plovak može ponijeti upravo težinu batisfere i spriječiti njezino potonuće.

Dva prazna rezervoara u plovku mogu se otvoriti kako bi se napunila morskom vodom. Dodatna težina morske vode vuče batiskaf prema dolje te će on stoga potonuti do dna mora.

Ako tone prebrzo, postoje željezne kuglice pričvršćene o kuglu, teške do 13 tona, koje se mogu postupno oslobađati. Na taj način batiskaf postaje lakši pa tone sporije. Ako se oslobodi dovoljno kuglica, batiskaf se ponovno diže na površinu.

Kad se batiskaf jedanput spustio i ponovno vratio na površinu, morska voda može se crpkama ukloniti iz rezervoara te upotpuniti zaliha željeznih kuglica, kako bi bio spreman za drugo spuštanje i uzdizanje.

Piccard je morao pričekati završetak drugoga svjetskog rata prije no što je doista mogao sagraditi svoj batiskaf. Prvi je završen 1948. Ispitan je, pregrađen i usavršen te su se napokon, 15. veljače 1954, u prvome stvarnom pokusnom ronjenju pokraj obale zapadne Afrike, dva francuska pomorska oficira spustila do dubine od 4.050 metara i uspješno vratila.

Godine 1953. sagrađen je još bolji batiskaf, *Trieste*, a 1958. kupila ga je ratna mornarica Sjedinjenih Država. Odvezen je u Californiju i tamo dalje usavršen. Tada je bio spreman za veliki test.

Krenuo je u zapadni Pacifik. Spremni da uđu u nj bili su Jacques Piccard (1922—), Augusteov sin, i američki pomorski oficir Don Walsh.

U 8 sati i 30 minuta, 23. siječnja 1960, *Trieste* je postavljen iznad Marianskog jarka te je potonuo 10.915 metara do dna, smirivši se na mekome mulju. Mulj se uzbibao te na neko vrijeme zamutio vidik, no polako se slegnuo, a kad je vidljivost postala bolja, ono što su dva čovjeka vidjela u svojim reflektorima bio je crveni račić, dugačak oko dva i pol centimetra, koji lebdi pokraj njih. Vidjeli su također neku ribu sličnu listu, dugačku tridesetak centimetara.

Batiskaf je potom odbacio svoje željezne kuglice i digao se na površinu. Dva su se čovjeka sigurno vratila u 17 sati, poslije vrlo opasna putovanja od 22 kilometra za koje im je trebalo devet sati.

Istraživanje dubokoga mora podarilo je znanstvenicima neka uzbudljiva iznenađenja.

Kako se slučilo, na spojevima tektonskih ploča mjestimice postoje »vruće točke« kroz koje toplina izbija u ocean, dosta slične toplim izvorima na kopnu. Postojanje takvih vrućih točaka prvi je put naslućeno 1965, a otkrivene su početkom 1970-ih godina.

Počevši 1977, jedna podmornica za debelo more povezla je znanstvenike u dubine da bi ispitali takve vruće točke. Na ulazu u Kalifornijski zaljev pronašli su »dimnjake« kroz koje su nadirali vrući mlazovi crnog mulja, ispunjavajući minerali ma okolnu morsku vodu.

Ti su minerali bogati sumporom pa je okolica tih vrućih točaka puna specijalnih vrsta bakterija koje dobivaju energiju iz kemijskih reakcija što nastaju kombinacijom sumpora i topline, a ne od sunčeve svjetlosti. Male životinje hrane se tim bakterijama, dok se veće životinje hrane manjima.

To je bilo otkriće čitavog novog lanca oblika života koji ne ovise o sunčevoj svjetlosti i biljnim stanicama, već mogu opstojati, naravno, samo pokraj vrućih točaka. Znanstvenici su pronašli školjkice, račiće i razne vrste crva, neke prilično velike. Oni čine posebne vrste koje mogu živjeti u vodi toliko punoj kemikalija da bi bila otrovna za druge oblike života.

I tako se čovjekov horizont proširio toliko te je obuhvatio čitav ocean i njegove najveće dubine, kao što se prije bio proširio na čitavu površinu, i kopna i mora.

Interludij: Horizont brojeva

VELIKI BROJEVI

U ovoj knjizi, u kojoj istražujem različite horizonte u koje prodire i što ih širi čovjekov um, neizbježno ću ponekad upotrijebiti vrlo velike i vrlo male brojeve. Dosad sam to izbjegavao, no neki će uskoro naići, a prije no što se to dogodi, čini se razumnim razmotriti kako je čovječanstvo razmicalo horizonte samih brojeva.

U pretpovijesno doba ljudska bića nisu imala potrebu za velikim brojevima. Čak i danas postoje primitivna plemena s vrlo malo riječi koje označavaju brojeve. Spominju se plemena koja imaju imena što odgovaraju samo pojmovima »jedan« i »dva«. Za svaki broj veći od dva reći će »mnogo«.

To, naravno, ne znači da pripadnici takvih plemena nisu u stanju razaznati tri ili četiri objekta. Oni samo nemaju posebna imena za takve brojeve, već se mogu snaći s onim što imaju. Ako neki pripadnik takva plemena posudi svome prijatelju »dva i još dva« neka predmeta, on će znati u čemu je razlika i bit će ozbiljno ozlojeđen ako natrag dobije »dva i ništa više«.

Zapravo, u antičkom i srednjovjekovnom dobu naši preci nisu baš bili mnogo bolji. Imali su samo dvanaest različitih imena za brojeve, a svi ostali mnogi brojevi što su se upotrebljavali sastavljali su se od tih dvanaest. Deset tih imena za brojeve označava, prirodno, prvih deset brojeva: jedan, dva, tri, četiri, pet, šest, sedam, osam, devet, deset. (To su imena na hrvatskome. Svaki jezik ima vlastita imena.) Tih deset različitih imena potječu vjerojatno otuda što imamo deset prstiju na rukama, pa ako prispodobimo brojeve s prstima, posve je prirodno svakome prstu dati drugo ime.

Dalje od toga, imena su izvedena. »Eleven« (jedanaest) je iskrivljeni anglosaksonski izraz koji u suvremenome engleskom odgovara izrazu »one left« — jedan preostao, naime nakon što je odbrojeno deset, što ukupno čini jedanaest. Na isti su način izvedena imena za dvanaest, trinaest, dvadeset — dva deset, i imajući to na umu, možemo shvatiti značenje svakog broja izraženoga uz pomoć osnovnih deset, sve do »devedeset devet« (devet desetica i devet«).

Slijedeći taj sistem, broj poslije »devedeset devet« bio bi »devedeset deset«, pa zatim »devedeset jedanaest« i tako dalje. Djeca, otkrivši tu logiku, ponekad upotrebljavaju takve brojeve pa ih odrasli, koji znaju da je broj iza »devedeset devet« — sto, brzo ispravljaju. Ime »hundred« (sto) potječe iz prethistorije, kao i »thousand« (tisuću), što dolazi poslije »devet stotina devedeset devet«. »Hundred« i »thousand« dva su preostala engleska imena za brojeve pradavna podrijetla.

Rimska riječ za »tisuću« bila je *mille* od koje je izvedena engleska *mile* koja je prvobitno označavala 1.000 koraka u dužinu, otprilike samo polovicu suvremene milje.

Ljudi, naravno, mogu upotrebljavati brojeve daleko veće od »jedne tisuće«, bez potrebe da stvaraju nova imena. Možemo govoriti o »deset tisuća« ili »devet stotina tisuća« ili o »tisuću tisuća«, što se toga tiče.

Grci su imali riječ *myrios* koja je značila »bezbrojan« i od nje su napravili riječ *myrias* za »deset tisuća«. Naša riječ »mirijada« izvedena je od toga grčkog izraza i upotrebljavamo je za »vrlo velik broj«, iako se, vrlo rijetko, ponekad upotrebljava i u značenju točno »deset tisuća«.

Grčki matematičar Arhimed (287—212 pr. n. e.) napisao je raspravu s nakanom da pokaže kako se sustav brojeva može upotrijebiti za nabrajanje svake količine, ma kako velike, a da bi to učinio, primijenio je shemu »mirijade mirijada mirijada« — nije pokušao pojednostavniti stvari izmišljanjem imena za neki broj veći od mirijade.

U kasnom srednjem vijeku u Italiji, trgovina i bogatstvo toliko su se razvili da je, u knjigovodstvu, postalo nužno sve češće govoriti o mnogim »tisućama tisuća«. Talijanski trgovci smatrali su korisnim izumiti posebnu riječ za »tisuću tisuća«. Nazvali su je *milione*, što je značilo »velika *mille*« — odnosno »velika tisuća«. U hrvatskom je to »milijun« (»million« u engleskom). (Otprilike u to vrijeme ušli su u

široku upotrebu arapski brojevi te su prihvaćeni simboli 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 i 9.)

Riječ »milijun« ušla je u opću upotrebu u Evropi do 1500-tih godina, a do tada se već počela upotrebljavati i riječ za još veći broj. Francuski matematičar Nicolas Chuquet (1450—1500) prvi je upotrijebio »bilijun« za »milijun milijuna«. Prefiks »bi« dolazi od latinskog *bis* što znači »dva puta«. »Bilijun« je, drugim riječima, broj u kojem se »milijun« pojavljuje dva puta.

Arapskim brojkama, »sto« je 100, »tisuću« je 1.000, a »milijun je 1,000.000. Ako je »jedan bilijun« — »jedan milijun milijuna«, on se piše 1,000,000.000.000. To je i značenje »jednog bilijuna« danas u Velikoj Britaniji i Njemačkoj. Međutim, u Sjedinjenim Državama i Francuskoj »jedan bilijun« upotrebljava se za »jednu tisuću milijuna« ili 1.000,000.000.

Kad je »bilijun« bio opće prihvaćen, skovane su i druge riječi, upotrebom latinskih prefiksa za tri, četiri, pet, šest i tako dalje. Tako imamo riječi kao što su »trilijun«, »kvadrilijun«, »kvintilijun«, »sekstilijun«, »septilijun«, »oktilijun« itd.

U američkoj upotrebi riječi, svako od tih imena označava tisuću puta veću vrijednost od prethodnog imena, tako da je trilijun tisuću bilijuna (1,000.000.000.000), kvadrilijun je tisuću trilijuna (1,000.000.000.000.000.) i tako dalje. U britanskoj upotrebi riječi, svako od tih imena označava milijun puta veću vrijednost od prethodnoga, tako da je trilijun milijun bilijuna ili milijun milijuna milijuna (1,000.000.000.000.000.000), dok je kvadrilijun milijun trilijuna (1,000.000.000.000.000.000.-000.000)

Najveće ime za broj koje se obično susreće pri upotrebi tog sistema je centilijun«. Prefiks je od latinskoga *centum*, što znači »sto«. tako da centilijun u američkom sistemu ima sto grupa po tri nule uz osnovna tri mjesta — dakle iza 1 slijede 303 nule. U britanskom bi to sistemu bilo 1 i 600 nula.

Bilo bi, naravno, lako zamisliti nekoliko imena za brojeve do svake neograničene veličine, no to ne bi imalo smisla, zato što su znanstvenici izmislili mnogo razumniji i prikladniji sustav za označavanje velikih brojeva.

Francuski matematičar René Descartes (1596—1650) umorio se od predstavljanja ponovljenog množenja nekog broja

ili simbola kao što je *axa* ili *axaxa*. On je takve umnoške radije pisao kao a^2 i a^3. Broj iznad linije zove se »eksponent« i takvi »eksponencijalni znakovi« ušli su u opću upotrebu.

Budući da je $10 \times 10 = 100$ i $10 \times 10 \times 10 = 1.000$, moguće je 100 označiti kao 10^2, a 1.000 kao 10^3. Lako je vidjeti kako je 10.000 — 10^4, 100.000 — 10^5, 1.000.000 — 10^6 i tako dalje. Taj je sustav lako zapamtiti i upotrebljavati zato što eksponent predstavlja broj nula iza 1 kod takvih brojeva. Tako smjesta znamo da je 10,000.000.000.000 — 10^{13}, a da je 10^{17} — 100,000.000.000.000.000. I dalje, kad definiramo centilijun kao 1 i 303 nule, u američkom sustavu, znamo također da je to 10^{303}. U britanskom sustavu to je 10^{600}.

Dok pri upotrebi imena za brojeve postoji mogućnost pomutnje, jer sva imena veća od milijuna označavaju drukčije vrijednosti u raznim zemljama, eksponencijalni znakovi svuda su općepriznati i nema dvosmislenosti.

Eksponencijalni znakovi mogu se upotrijebiti za brojeve općenito. Tako se 6.300 može napisati kao 63×100, ili $6{,}3 \times 1.000$, ili čak $0{,}63 \times 10.000$. Prema tome, taj se broj može napisati kao 63×10^2, ili $6{,}3 \times 10^3$, ili $0{,}63 \times 10^4$. Svaka je od tih alternativa točna, no obično se odabire ona u koje je neeksponencijalni dio broja između 1 i 10. Prema tome, 6.300 trebalo bi napisati kao $6{,}3 \times 10^3$.

Pišući velike brojeve ili razmišljajući o njima, lako možemo shvatiti kako nema nikakva načina da se napiše ili zamisli nešto kao što je »najveći broj«. Svakom broju što ga čovjek ima strpljenja napisati ili smisliti uvijek se može dodati 1, ili se uvijek može udvostručiti, ili mu se uvijek može dodati jedna grupa nula.

Stari grčki matematičari mora da su to shvatili, no tek su se u kasnom srednjem vijeku matematičari počeli baviti beskrajnim serijama brojeva koje su se postupno povećavale i nikad to nisu ni prestale.

Primjerice, 1202. godine talijanski je matematičar Leonardo Fibonacci (1170 — poslije 1240) prvi uveo ono što se danas naziva »Fibonaccijeva serija«. To je niz brojeva što počinje sa 1,1 i gdje je svaki broj zbroj dvaju prethodnih brojeva. Niz je, prema tome, ovakav: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89 i tako dalje u beskraj.

To je beskrajna serija brojeva ili »neizmjerna serija«, odnosno »infinitna serija«, pri čemu je »infinitan« izvedeno od latinske riječi za »beskrajan«.

Do 1680-ih godina, kad je engleski matematičar Isaac Newton (1642—1727) uveo granu matematike nazvanu »račun«, neizmjerne serije imale su izvanredno značajnu ulogu te je važnim postalo pitanje kako ih izraziti simbolima. U slučaju Fibonaccijeve serije, iznio sam pravilo za stvaranje brojeva u slijedu, zatim sam naveo prvih jedanaest brojeva i rekao »i tako dalje u beskraj«.

Matematičarima, koji su pisali u žurbi, trebalo je nešto sažetije. Primjerice, najjednostavnija je serija ona prirodnih brojeva: 1, 2, 3 i tako dalje u beskraj. Moglo bi se napisati: 1, 2, 3... Na taj način, niz točaka nagovještava da se serija nastavlja u beskraj.

No to možda nije dostatno određeno. Mogli biste napisati: 1, 2, 3...20, u značenju da uključujete sve brojeve od 1 do 20 ne ispuštajući nijedan, no ne gnjaveći s time da ih sve ispisujete. Mogli biste također imati 1, 2, 3...200, ili 1, 2, 3...10,000.000. Ali kako na ovaj način možete izraziti *sve* brojeve bez kraja?

Engleski matematičar John Wallis (1616—1703) upotrijebio je 1656. polegnuti znak 8 kao simbol. Ako napišete 1, 2, 3...,∞ time naznačavate da niz treba shvatiti kao da se nastavlja zauvijek. Simbol ∞ znači i »i tako dalje zauvijek« ili »i tako dalje beskrajno« ili »i tako dalje neizmjerno«.

Simbol ∞ često se čita kao »neizmjernost« u značenju »beskrajnost«, i postoji veliko iskušenje da se on smatra brojem — određeno, najvećim brojem koji postoji. To je, međutim, pogrešno. Simbol ∞ nije broj, već obilježavanje svojstva beskrajnosti.

Postoje zapravo različiti stupnjevi beskrajnosti. Tako, sve se može izbrojiti (pomislili biste) primjenom niza prirodnih brojeva. Sva zrnca pijeska na svim plažama svijeta; sve zvijezde na nebu, svi atomi u svemiru i sve sekunde koliko ih svemir postojaše mogu se izbrojiti a da se ne iscrpi sustav brojeva i da se ne dođe ništa bliže »neizmjernosti« no što ste bili na početku.

Pa ipak nije tako! Njemački matematičar Georg Cantor (1845—1918) uspio je 1874. pokazati kako ne postoji način da se izbroje, primjerice, sve točke jedne crte. Bez obzira na sistem koji je primijenjen da bi se one izbrojile, uvijek je bio izostavljen jedan beskrajan njihov broj. Čitav beskrajni niz 1, 2, 3...∞ nije dostajao da se one izbroje.

To je značilo da beskrajan broj točaka neke crte predstavlja viši stupanj beskrajnosti od beskrajnoga broja brojeva u nizu 1, 2, 3 ... ∞. Cantor je zapravo pokazao kako je logično pretpostaviti da postoje beskrajne serije stupnjeva neizmjernosti, od kojih je beskrajnost brojeva tek najmanja.

Mašta pri tome posrće, no možda će biti olakšanje spoznati da ćemo se u ovoj knjizi baviti samo konačnim brojevima te nećemo morati dublje zalaziti u pojam beskrajnosti.

MALI BROJEVI

Krenimo sad u drugom smjeru. Kako *mali* mogu postati brojevi?

Baratamo li samo prirodnim cijelim brojevima, 1, 2, 3 ... ∞, tada je 1 najmanji broj. Ne može se baš imati, primjerice, manje kamenčića od jednoga.

Osim što se može. Sve manji i manji brojevi stvaraju se oduzimanjem. Započnete li sa pet kamenčića i maknete jedan, imate četiri. Ako ponovite postupak, imate tri, potom dva, potom jedan. No postupak možete ponoviti još jedanput, možete maknuti i posljednji kamenčić pa nećete imati nijedan.

Moglo bi se ustvrditi da »ništa« nije broj, no matematičari su pronašli da se simbolom, ako se naime za ništa odredi simbol, može baratiti kao i svakim drugim simbolom za broj. (Osim što je nemoguće dijeliti s »ništa« pa je taj postupak nedopušten).

U cijelome antičkom dobu, koliko znamo, nitko nije pomišljao na to da za »ništa« odredi simbol. Bez toga simbola nije bilo moguće razviti nikakav doista upotrebljiv sustav brojčanih simbola. Egipćani, Babilonci, Hebreji, Grci i Rimljani svi su upotrebljavali simbole za koje se tražilo nespretno baratanje te je napredak u matematici bio gotovo nemoguć.

Mnogi su znanstvenici upotrebljavali računalo s kuglicama za baratanje brojevima, pa da bi prikazali »stotinu dva«, uzimali bi jednu kuglicu u redu za stotice i dvije u redu za jedinice, ali nijednu u redu za desetice. Nikad im nije palo na um upotrijebiti neki simbol koji bi značio »ništa u redu«.

Ta je ideja pala na pamet jednome matematičaru u Indiji (zauvijek bezimenu i nepoznatu) nešto prije 876. godine. Pojam »ništa« označen je točkicom, zato što je bio najbliži još vidljivi prilaz ničemu; ili poput male kružnice koja je tek šuplja točkica pa se prema tome još više približava ničemu. Mi je pišemo 0, tako da se stotinu dva piše 102, gdje 0 označava »odsutnost kuglica u redu desetica«.

Taj su pojam od Indijaca posudili Arapi i prenijeli ga u Evropu. Arapi su taj simbol nazvali *sifr*, što je značilo »prazan« (prazan red u računalu, naime). Odatle dolazi »cifra« u smislu broja ili rada s brojevima, a u engleskome i oznaka za ništicu, nešto bez vrijednosti i tajne poruke (koje se moraju izraziti brojevima, šifrirati). Ništica omogućuje razlikovanje između 12, 102 i 120, na primjer, zbog čega je arapski brojčani sustav, sa svojim pozicijskim bilježenjem znakova, postao daleko superiorniji prema svemu što je prije postojalo.

Od *sifr* je nastala i riječ »zero«, englesko ime za taj simbol.

Moglo bi se sad činiti da je nula nedvojbeno najmanji broj, jer što može biti manje od ničega?

No razmislite. Pretpostavimo da nemate novca, a k tome još nekome dugujete dolar. Imali biste tada manje od ništa, jer ako vam netko posudi dolar, morali biste ga dati da poništite svoj dug. A mogli biste, dakako, imati i dug veći od dolara pa biste tada imali manje od ništa u još većem stupnju.

Za označavanje takvih dugova imamo »negativne brojeve« koje možemo pisati —1, —2, —3 ... ∞, pri čemu se ti brojevi čitaju »minus jedan«, »minus dva«, »minus tri« i tako dalje. Opću matematičku korisnost negativnih brojeva prvi je shvatio talijanski matematičar Girolamo Cardano (1501—76).

Pa iako su negativni brojevi manji od ništa, oni nisu nužno i mali brojevi. Ako dugujete milijun dolara, imali biste mnogo, mnogo manje od ništa; no to vam se ne bi činilo kao da imate vrlo malo novca. To bi djelovalo kao da imate vrlo velik dug.

Uobičajenije je smatrati malim brojevima one brojeve koji su vrlo blizu nule, bez obzira jesu li na običnoj ili na negativnoj strani. Možete imati vrlo malo novca (iako ne baš ništa) ili vrlo mali dug (ali ne baš nikakav).

To nas dovodi do pojma razlomaka. Možete imati jedan komad nekog predmeta, no ako se taj predmet može podijeliti, tada možete imati jednu njegovu polovicu, ili četvrtinu i tako dalje. Ako podijelite neki predmet na dva jednaka komada, tada je svaki taj komad rezultat koji se dobije kad se jedan podijeli sa dva, ili, suvremenim simbolima, 1/2, gdje kosa crta (/) predstavlja »podijeljen sa«.

Slično tome, može se imati 1/3 ili 1/4 ili 1/5 i tako dalje. Što je veći broj jednakih dijelova na koji ste podijelili prvobitnu cjelinu, to će biti manji svaki pojedini dio. Matematički, jedna brojčana cjelina može se podijeliti na neograničen broj dijelova, tako da se završi nizom 1, 1/2, 1/3, 1/4 .... $1/\infty$.

Isto tako kao što u matematici ne postoji nešto takvo kao najveći broj, ne postoji ni nešto kao što je najmanji broj. Što je veći broj u nazivniku (brojka desno od kose crte), to je broj manji, a kako broj u nazivniku možete uvijek povećavati, ma kako bio velik u početku, broj može stalno postajati sve manji, ma kako bio malen na početku.

Vrlo mali brojevi mogu se izraziti eksponencijalno, jednako kao što se tako mogu izraziti vrlo veliki brojevi.

Tako se 1/100 može napisati $1/10^2$, a 1/1,000.000 (jedna milijuntnina) može se napisati $1/10^6$ i tako dalje.

Bilo bi praktično kad bismo mogli izbjeći oblik razlomaka, i začudo, možemo to učiniti.

Tako, 10.000 podijeljeno sa 10 čini 1.000, a to podijeljeno sa 10 daje 100, što podijeljeno sa 10 daje 10. Drugim riječima, 10^4 podijeljeno sa 10 jest 10^3, a to podijeljeno sa 10 čini 10^2, što podijeljeno sa 10 daje 10^1. Svaki put kada dijelite eksponencijalnu deseticu sa deset, smanjujete za jedan veličinu eksponenta.

Prema tome, 10^1 podijeljeno sa deset trebalo bi biti jednako 10^0. Znamo da je 10^1 jednako 10, a 10 podijeljeno sa deset je 1. Iz toga slijedi, prema tome, da bi se izbjegla kontradikcija, kako je 10^0 jednako 1.

I dalje, 10^0 podijeljeno sa deset iznosi 10^{-1}, a to podijeljeno sa deset iznosi 10^{-2}, što podijeljeno sa deset iznosi 10^{-3} i tako dalje. Budući da 1 podijeljeno sa deset iznosi 1/10, što podijeljeno sa deset iznosi 1/100, a to podijeljeno sa deset iznosi 1/1.000 i tako dalje, slijedi da je $10^{-1} = 1/10$; $10^{-2} = 1/100$; $10^{-3} = 1/1.000$ i tako dalje beskrajno.

Možemo također vidjeti, ako je jedan milijun 10^6, da je tada jedna milijuntnina 10^{-6}, ako je bilijun 10^{12}, tada je jedna bilijuntnina 10^{-12} i tako dalje.

Uzmimo da izrazimo neki broj u decimalnom obliku. Kod normalnih eksponenata, eksponent (kao što prije rekoh) jednak je broju nula poslije 1. Kod negativnih eksponenata, eksponent je jednak broju nula prije 1, *pod uvjetom da ste uključili jednu nulu prije decimalnog zareza.*

Tako je $10^1 = 10$, dok je $10^{-1} = 0{,}1$, a $10^8 = 100{,}000{,}000$, dok je $10^{-8} = 0{,}00000001$ i tako dalje.

A što je s brojem kakav je 0,0000638? To je jednako $6{,}38 \times 0{,}00001$, a može se napisati kao $6{,}38 \times 10^{-5}$.

Sada smo se dovoljno naoružali brojevima te možemo nastaviti s horizontima čovjekova istraživanja i misli koji neprekidno uzmiču.

6

Ispod Zemljine površine

MASIVNA UNUTRAŠNJOST

Površina Zemlje, o horizontima koje smo dosad govorili, ima 20-kilometarski raspon neravnine, od visine Mt. Everesta do dubine Challengerove dubine, no taj se raspon svodi na beznačajnost u usporedbi s veličinom same Zemlje.

Zemlja je lopta promjera većeg od 12.000 kilometara, i kad bi se izradio njezin model veličine loptice za biljar, sa svim površinskim neravninama izrađenima točno u razmjeru, taj bi model bio *glađi* od obične loptice za biljar — a ocean bi bio tek neprimjetna vlažna izmaglica na više od 70 posto njezine površine.

Širenje čovjekova horizonta planinama i oceanima *još* je, prema tome, u biti dvodimenzionalno. Kako se dakle daleko može širiti ljudsko znanje onkraj površine, doista onkraj? Znamo li, primjerice, bilo što o unutrašnjosti masivne kugle same Zemlje?

Da, zato što znamo nešto o Zemlji kao cjelini iz poznavanja njezine površine.

Prema načinu kako brodovi na moru nestaju na horizontu, prema načinima kako se zvijezde pojavljuju i nestaju sa horizonta kako čovjek ide prema sjeveru i jugu, prema obliku Zemljine sjene na Mjesecu, ljudi shvatiše još od vremena antičkih Grka da je Zemlja u biti oblikom okrugla. Budući da Zemlja rotira, mora postojati neko centrifugalno djelovanje, kao što je Isaac Newton prvi istakao 1860-ih godina, te površina mora biti sve više i više izbočena kako se

udaljujemo od polova, pri čemu izbočina doseže maksimalno proširenje prema van na ekvatoru. Posljedica jest da je Zemlja »spljošteni sferoid«, a ne kugla. No, ta je izbočina tako mala u usporedbi s veličinom Zemlje da bi, promatrana iz svemira, Zemlja djelovala kao kugla.

Tako promjer Zemlje iznosi 12.714 kilometara od pola do pola, a 12.757 kilometara preko ekvatora. Ekvatorijalna izbočina, na najvećem dijelu, dodaje promjeru 43 kilometra, što je razlika od 0,32 posto.

Volumen takva jednoga sferoida iznosi $1{,}083 \times 10^{12}$ kubičnih kilometara ili, drugim riječima, oko bilijun kubičnih kilometara.

Nešto je teže odrediti masu Zemlje, pri čemu masu nekog predmeta možemo definirati (ne posve točno, ali dostatno za našu svrhu) kao količinu tvari u tome predmetu.

Jedan način da se procijeni masa nekoga objekta jest mjerenje intenziteta njegova gravitacijskog polja, jer je on točno proporcionalan masi. Engleski znanstvenik Henry Cavendish (1731—1810) izmjerio je 1798. vrlo precizno slabo gravitacijsko djelovanje jedne olovne kugle poznate mase na drugu kuglu i usporedio je to sa djelovanjem Zemljine gravitacije na te mase. Na temelju mnogo snažnijeg djelovanja Zemlje mogao je izračunati Zemljinu mnogo veću masu.

Cavendishova prvobitna brojka za Zemljinu masu bila je iznenađujuće točna i otada je tek nešto malo promijenjena. Danas je prihvaćeno da ona iznosi $5{,}976 \times 10^{24}$ kilograma (što je otprilike 6 bilijuna bilijuna kilograma).

Podijelimo li Zemljinu masu s njezinim volumenom, dobit ćemo prosječnu »gustoću« Zemlje — masu neke jedinice volumena Zemlje. Kao jedinicu volumena uzet ćemo kubični metar. Proizlazi da je prosječna gustoća Zemlje 5.518 kilograma po kubičnome metru, ili (izraženo sažetijim simbolima $5.518\ kg/m^3$.

Uobičajeno je uspoređivati gustoću nekoga objekta s gustoćom vode koja iznosi samo $1.000\ kg/m^3$. Prema tome, prosječna gustoća Zemlje samo je 5,518 puta veća od gustoće vode.

Površinske stijene Zemlje imaju prosječnu gustoću oko $2.800\ kg/m^3$. Stoga dublji prostori Zemlje moraju imati gustoću znatno veću od $5.518\ kg/m^3$ kako bi to mogao biti prosjek.

Kad bi cijela Zemlja bila jednoliko stjenovita, očekivali bismo da će se gustoća povećavati s dubinom, jer težina sve debljih i debljih slojeva odozgo stješnjava stijenje ispod do sve veće i veće gustoće.

Pritisak koji bi se stvorio čak i u središtu Zemlje ne bi, međutim, bio dovoljno velik, prosuđuje li se prema podacima skupljenima u laboratorijskim pokusima, da slabije stijenje do gustoće dostatno velike za postizanje izračunatog prosjeka. Zaključak je, prema tome, da Zemlja nije cijela jednoliko stjenovita; negdje blizu središta postoji promjena strukture, mora da je posrijedi neka supstanca gušća od stijenja.

Događa se da se na Zemlji povremeno pronalaze meteoriti. To su mali komadi planetarnog materijala koji normalno kruže oko Sunca i koji su se slučajno sudarili sa Zemljom u toku toga kruženja. Pojavljuju se u dvije glavne vrste. Neki su stjenoviti i u mnogim su aspektima slični vrsti stijenja kakvo poznajemo ovdje na Zemlji. Neki su, s druge strane, metalni i sastavljeni su od željeza i sličnoga metala, nikla, u omjeru otprilike 9 prema 1.

Jedna teorija o meteoritima (*ne* ona koja danas uživa prednost) držala je da oni potječu od raspadanja nekog planeta. Ako je tako, tada možda dvije vrste meteorita predstavljaju dvije vrste krutina koje čine planete. Francuski geolog Gabriel Auguste Daubrée (1814—96) iznio je 1866. godine da je krajnji unutrašnji dio Zemlje sastavljen od mješavine željeza i nikla, poput metalnih meteorita.

To se činilo logičnim, pa je čak i danas ostalo najprihvaćenijim mišljenjem. Ako je tako, gustoća u središtu Zemlje trebala bi biti oko 11.500 kg/m^3, oko dva puta veća od gustoće površinskih stijena.

POTRESI

No kakve su pojedinosti u vezi s promjenom gustoće pri spuštanju prema središtu? Ako se struktura Zemlje mijenja, ako postoji manje ili više nagla promjena od stijenja prema metalima, morala bi također postojati nagla promjena gustoće. Kako je moguće ispitati krutu strukturu Zemlje radi određivanja mjesta i opsega te nagle promjene? Da bi se to učinilo, mora se pronaći nešto što prodire u te dubo-

ke slojeve, što se može otkriti nakon toga i što pri tome može osjetiti promjene da bi potom moglo pružiti željene podatke.

Takav fenomen, slučajno, postoji.

Ploče Zemljine kore koje se sporo pomiču mogu se uklještiti i zatim iznenada iskliznuti dok se trljaju jedna o drugu. Ta okliznuća stvaraju snažne vibracije koje nazivamo potresima. Snaga vibracija opada s udaljenošću pa stvarna šteta nastaje samo u neposrednoj okolici okliznuća. Vibracije se, međutim, mogu otkriti na velikim udaljenostima — praktički svugdje na Zemlji, ako je potres dovoljno snažan.

Zemlju svake godine pogađa milijun potresa, uključujući najmanje deset katastrofalnih i sto ozbiljnih, pa je to pojava koja itekakao privlači pažnju znanstvenika.

Engleski geolog John Michell (1724—93) prvi je iznio zamisao, 1760. godine, da su potresi valovi koje pokreće pomicanje masa stijenja kilometre ispod površine, a 1855. talijanski fizičar Luigi Palmieri (1807—96) izradio je prvi »seizmograf« za proučavanje tih valova.

U najjednostavnijem obliku, seizmograf se sastoji od jednoga masivnog bloka koji visi o razmjerno slaboj opruzi s potpornja koji je čvrsto fiksiran u postolje. Kad se Zemlja giba, obješeni blok ostaje miran zbog svoje inercije. No, potporanj se giba zajedno sa gibanjem Zemlje. To se gibanje bilježi na bubnju koji se polako okreće, uz pomoć pera pričvršćenog na nepomični blok. Danas seizmografi mogu upotrebljavati svjetlosnu zraku koja obilježava papir osjetljiv na svjetlost, da bi se izbjeglo kočenje pera na papiru.

Engleski inženjer John Milne (1850—1913), upotrebljavajući seizmograf vlastite konstrukcije, pokazao je uvjerljivo 1890-ih godina da je točan Michellov opis potresa kao valova što se šire kroz tijelo Zemlje. On je pokrenuo postavljanje seizmografskih stanica na raznim mjestima na Zemlji. Danas ih ima više od 500 na svim kontinentima, uključujući i Antarktiku.

Seizmografska proučavanja pokazala su da se valovi potresa pojavljuju u dvije opće varijante, kao »površinski valovi« i kao »unutrašnji valovi«. Površinski valovi slijede krivulju Zemljine površine, dok unutrašnji valovi idu kroz unutrašnjost. Prolaz kroz unutrašnjost je, da tako kažemo, prečica, pa stoga unutrašnji valovi prvi stižu do seizmografa. Snaga kojom unutrašnji valovi potiskuju površinske valove

do određenoga seizmografa indikacija je o tome kako je daleko izvor vala (»epicentar« potresa).

Unutrašnji valovi javljaju se u dva tipa: primarni (»P valovi«) i sekundarni (»S valovi«). Primarni valovi, poput zvučnih valova, putuju naizmjeničnim zbijanjem i rastezanjem medija, slično skupljanju i širenju harmonike. Takvi valovi mogu prolaziti kroz svaki medij — krut, tekuć ili plinovit.

Sekundarni valovi, s druge strane, imaju poznati oblik zmijolika krivudanja pod pravim kutovima na smjer putovanja. Oni mogu putovati kroz krutine i površinom tekućina, no ne mogu putovati kroz tijelo tekućine niti kroz plin.

Primarni valovi putuju brže od sekundarnih pa se i prema tome može naslutiti udaljenost epicentra potresa.

Na brzinu i primarnih i sekundarnih valova utječu svojstva materijala kroz koji prolaze. Ako materijal ima jednolika svojstva, valovi putuju u ravnim linijama. Ako se svojstva mijenjaju, staza valova krivuda; iz prirode i veličine krivudanja te iz promjena brzine putovanja mogu se donositi zaključci o promjenama svojstava materijala kroz koji valovi prolaze. Tako se uz pomoć potresnih valova mogu istraživati uvjeti duboko ispod Zemljine površine.

Primarni val blizu površine putuje brzinom od 8 kilometara u sekundi (ili, konciznije, 8 km/sek.) Na dubini od 1.600 kilometara ispod površine, njegova brzina, prosuđuje li se po vremenima dolaska, mora biti blizu 13 km/sek. Slično tome, brzina sekundarnog vala blizu površine je oko 4,5 km/sek., a na dubini od 1.600 km iznosi 6,5 km/sek. Budući da je povećanje brzine mjerilo povećanja gustoće, možemo procijeniti gustoću materijala daleko ispod površine.

Dok na površini stjenoviti sloj Zemlje ima prosječnu gustoću 2.800 kg/m^3, ta se gustoća 1.600 km dublje penje na 5.000 kg/m^3, a 2.900 kilometara dublje na gotovo 6.000 kg/m^3.

Na dubini od 2.900 kilometara nastaje nagla promjena. Sekundarni valovi uopće se ne prenose na nižim dubinama. Uzima se da to znači kako je na većim dubinama Zemljina jezgra tekuća. Promjena je oštra te se čini da nastaje nagla promjena svojstava — tako nagla da se granica naziva »prekidom«. To je, zapravo, »Gutenbergov prekid«, nazvan prema njemačkom geologu Benu Gutenbergu (1889—1960) koji je 1914. dokazao njegovo postojanje.

Ispod Gutenbergova prekida nalazi se Zemljina »tekuća jezgra«. Na najvećim dubinama, unutar 1.300 kilometara od planetarnog središta, ta je jezgra možda kruta. To je prvi istakao, na temelju ponašanja potresnih valova, danski geolog Inge Lehmann 1936. godine.

Iznad Gutenbergova prekida nalazi se Zemljina kora.

Gustoća Zemlje skače od oko 6.000 kg/m³ iznad Gutenbergova prekida do oko 9.000 kg/m³ ispod njega, ravnamo li se prema podacima potresnih valova, a to bi nagovještavalo oštru promjenu kemijske strukture. To bi odgovaralo ideji da se kod Gutenbergova prekida stjenovita kora naglo mijenja u tekuću željezno-niklenu jezgru. (Trenutačno se raspravlja o tome je li jezgra posve metalna, ili postoje stanovite primjese sumpora ili kisika, i koliko.)

Iako je Zemljina kora neosporno stjenovite prirode, čini se da se ona razlikuje od površinskih stijena Zemlje (ako prosuđujemo prema usporedbi ponašanja potresnih valova koji prolaze kroz oba ta sloja) utoliko što je bogatija magnezijem i željezom, a siromašnija aluminijem.

Zemljina kora se, prema tome, ne proteže posve do površine Zemlje. Hrvatski geolog Andrija Mohorovičić (1857—1936), proučavajući valove što ih je stvorio jedan balkanski potres 1909, zaključio je da mora postojati naglo povećanje brzine valova na točki oko 32 kilometra ispod Zemljine površine. To je danas poznato kao »Mohorovičićev prekid«, a označava gornju površinu Zemljine kore. Iznad toga je Zemljina »ljuska«. (Jezgra, kora i ljuska imaju, slučajno, otprilike iste relativne proporcije kao žutanjak, bjelanjak i ljuska kokošjeg jajeta.)

Zemljina ljuska nije jednako debela na cijeloj površini Zemlje. Mohorovičićev prekid je dublje ispod površine u kontinentalnim područjima nego ispod oceana. A na kontinentima, osobito se duboko spušta u planinskim predjelima. Postoji zapravo gruba simetrija, jer što je viša površina kopna iznad morske razine, to je dublji Mohorovičićev prekid. Tako je ljuska debela do 65 kilometara ispod planinskih lanaca, 35 kilometara u niskim kontinentalnim područjima te samo 13 do 16 kilometara ispod oceanskih područja.

Debljina ljuske u oceanskim područjima uključuje i debljinu vode iznad morskoga dna. Prema tome, kruti dio ljuske ispod oceanskih dubina možda nije deblji od 5 kilometara.

Tijekom 1960-ih godina javio se entuzijazam u vezi s mogućnošću bušenja morskoga dna sve do kore, kako bi se izvadio materijal kojim bi se provjerili zaključci te teorije. Da se to dogodilo, bio bi to najdublji prodor u Zemljine dubine što ga je učinio čovjek. Taj se projekt, međutim, izjalovio.

Pa ipak, čak i ako se projekt ostvari nekad u budućnosti, ne čini se baš vjerojatnim da će ljudska bića ikad prodrijeti instrumentom (još manje nekom vrstom vozila) dublje od granice Zemljine kore. A niti se može stvarno zamisliti kakav bi to znatan tehnološki napredak dostajao za tu svrhu, s obzirom na ekstremna svojstva Zemljinih masivnih dubina.

7

Zemljina atmosfera

IZNAD ZEMLJINE POVRŠINE

Ako put dolje u utrobu Zemljina masivnog ustroja predstavlja, kako se čini, oštro ograničenje čovjekovu prodoru, kakav je onda put gore u atmosferu?

Na određeni način, ljudska bića mogu, i jesu istraživala atmosferske visove uspinjući se na planine. To je, međutim, istraživanje koje se može ostvariti samo na točno određenim točkama Zemljine površine na kojima se nalazi odnosna planina; i, čineći to, čovjekova noga ostaje čvrsto prikovana o masivno tlo.

Zar ne postoji neki način kojim bi ljudska bića najavila svoju neovisnost o tlu i uzdigla se fizički u atmosferu? Učiniti to, bijaše snom o slobodi ljudskih bića od najstarijih vremena, a moguće sposobnosti da to učine nagovještavaše im ono što su mogli vidjeti oko sebe.

Atmosfera *može* podržavati objekte. Vjetar može nositi lagane predmete zrakom — lišće, perje, sjemenje. Još je impresivnija činjenica da postoje životinje prilagođene lebđenju zrakom na duge udaljenosti. Primjeri su leteće vjeverice, tobolčari letaši — čak i leteće ribe.

No još su impresivniji istinski letači, životinje koje se uz pomoć napora mišića mogu kretati zrakom neovisno o zračnim strujama ili čak protiv njih.

Četiri odijeljene grupe životinja razvile su neovisno mehanizme leta. Od njih, jedna su grupa beskičmenjaci — insekti. Svaki od tri razreda kičmenjaka razvio je let. Među

reptilima postoje pterosauri koji su izumrli već milijune godina. Među sisavcima postoje šišmiši. Konačno najimpresivniji od svih, praktički čitav rod ptica.

Tako dugo dok ptice lako i, po svemu sudeći, bez napora presijecaju atmosferu, ljudska bića ne mogu a da i sama o tome ne sanjaju.

Nije, međutim, lako održavati masivni predmet u lebdećem položaju nasuprot sili teži, uz potporu medija tako razrijeđena kao što je zrak, i to je moguće samo zato što su leteće životinje relativno male.

Insekti su najmanji među različitim vrstama letača, jer je njihov mehanizam za disanje manje djelotvoran no u kičmenjaka te ne mogu stvarati energiju potrebnu za održavanje više od vrlo male mase u brzom pokretu. Najveći postojeći insekt je afrički golijat koji može težiti do 100 grama.

Letači kralješnjaci, s djelotvornim plućima i krilima koja imaju unutrašnje tjelesno ukrućivanje, laki ali snažni, mogu biti znatno veći. Iako su neki šišmiši manji od najvećih insekata, najveći šišmiši (kakve su neke vrste u Indoneziji) teže čak 900 grama.

Neke ptice su još veće. Najveće leteće ptice su droplje Kori, barem jedna koja je, kako je javljeno, bila teška 24 kilograma. Neki od izumrlih pterosaura možda su se približili toj masi, a nedavno je javljeno o fosilnim ostacima jednoga vrlo velikog primjerka koji ju je možda i premašivao, no pitanje je jesu li veliki pterosauri doista letjeli ili samo lebdjeli.

Vjerojatno se može slobodno ustvrditi kako je, u cijeloj povijesti biološke evolucije, dvojbeno je li letenje ikad razvijeno u neke životinje koja je težila više od 30 kilograma, u krajnjem slučaju.

Iz toga razloga, ne čini se da postoji ikakva šansa za čovjekov let na neki način koji bi podsjećao na ptičji, jer čak i malen odrastao čovjek vjerojatno ima više od 35 kilograma, a prosječna težina američkoga odraslog muškarca dvostruko je veća.

No, ljudi to sve do suvremenog doba nisu uzimali u obzir. Kad su stari Grci kazivali mit o velikome izumitelju Dedalu, u njemu je Dedal umakao s Krete sagradivši par krila za sebe (i drugi par za svoga sina Ikara). Krila su se

sastojala od lagana okvira na koji je voskom bilo pričvršćeno perje. Držalo se da perje podaruje sposobnost leta.

Slikari i kipari koji su smatrali nužnim naglasiti natprirodnu sposobnost anđela da lete dajući im krila, dali su im dugačka ptičja krila no nisu im oduzeli ruke, očito ne shvaćajući posve činjenicu kako su time anđelima stvorili šest udova. (S druge strane, vile, osobito ako su zamišljane malima, dobivale su često tanašna i prozirna krila insekata, dok su demoni dobivali kožasta krila šišmiša.)

Ljudi su zamišljali da su i životinje mnogo veće od čovjeka sposobne letjeti. Postojao je tako leteći konj, Pegaz, u grčkim mitovima; postojali su leteći zmajevi, ogromni reptili koji su neobično podsjećali na pterosaure, a u zraku su ih održavala krila šišmiša često prikazivana smiješno sićušnima. Jedna glasovita priča u *Tisuću i jednoj noći* govori o »roku«, tako ogromnoj letećoj ptici da joj je jaje bilo veliko poput manje kuće, i tako snažnoj da je mogla podići slona pandžama jedne noge, nosoroga pandžama druge, pa odletjeti s njima. Smatra se da je rok inspiriran epiornisom s Madagaskara (ne tako davno izumrlim), najvećom pticom koja je ikad živjela. Bila je visoka do 3 metra i teška do 450 kilograma — no potpuno nesposobna letjeti.

Čak se i neživim predmetima u mašti pripisivala sposobnost leta; sjetite se letećih sagova iz legende i mašte.

ČOVJEKOVO LEBĐENJE

Ljudska bića, dakako, mogu izraditi objekte koji će letjeti, na neki način. Kako je bilo poznato da vjetar može zavitlati uvis lagane, plosnate predmete (lagane zato da se ne traži mnogo snage i plosnate zato da se uhvati što je moguće više vjetra), ljudima je moralo pasti na um da rastegnu papir, ili nešto slično, preko krhkoga drvenog okvira i da mu dodaju konop kojim će ga držati. Na taj se način dobiva »zmaj«.

Upotreba zmajeva potječe sve tamo iz pretpovijesnog doba u istočnoj Aziji. U zapadnoj tradiciji, pretpostavlja se da je zmaja izumio grčki filozof iz južne Italije, Arhita iz Tarenta (400—350. pr. n. e.).

Zmajevi su se upotrebljavali tisuće godina; uglavnom za zabavu, iako su bile moguće i praktične upotrebe. Zmaj mo-

že držati u zraku fenjer, kao signal trupama na prostranome području. Zmaj također može prenijeti preko rijeke lagani konopac, uz pomoć kojega se mogu povući na drugu stranu teži konopi da bi se počeo graditi most.

Prvi pokušaj upotrebe zmaja za istraživanje svojstava atmosferskih visina zabilježen je 1749. godine. Te je godine škotski astronom Alexander Wilson (1714—86) pričvršćivao toplomjere na zmajeve, nadajući se izmjeriti temperaturu u visinama.

Mnogo je značajniji bio rad kolonijalnoga američkog učenjaka Benjamina Franklina (1706—90) koji je 1752. pustio zmaja za vrijeme oluje i napunio Leydensku bocu elektricitetom, dokazujući da su munje električno pražnjenje. Na taj je način proizveo gromobran, i uklonio uvelike strah od udara groma. Bila je to prva pobjeda znanosti nad prirodnim nedaćama.

Nije trebalo dugo da ljudska bića počnu, osobno, slijediti put zmajeva.

Dva Francuza, Joseph Michel Montgolfier (1740—1810) i njegov mlađi brat Jacques Etienne (1745—99) promatrali su kako dim vatre hvata lagane predmete i podiže ih u zrak. Topli je zrak, činilo se braći, lakši od hladnoga zraka, pa lebdi u hladnome zraku kao što drvo pluta po vodi. Činilo se prirodnim pretpostaviti da će se lagana vreća, ako se drži otvorom prema dolje iznad vatre, napuniti toplim plinovima i uzdići uvis, sve dok se plinovi ne ohlade te više neće imati moć lebđenja.

Na tržnici svoga rodnog grada, braća su 5. lipnja 1783. napunila veliku lanenu vreću toplim zrakom. Ona se podigla 450 metara uvis i prelebdjela udaljenost od gotovo 2,5 kilometara za deset minuta. To je bio prvi »balon« (prema talijanskoj riječi za veliku loptu ili kuglu).

Činilo se očiglednim da će se lagana gondola, ako se objesi o dno vreće, ta gondola i (u razumnim granicama) svaki sadržaj koji nosi, također podići. Braća Montgolfier pošla su 19. rujna 1783. u Versailles, sjedište francuske vlade, i tamo su, pred uglednom publikom, demonstrirala jedan veći balon s gondolom u kojoj su se nalazili jedna ovca, pijevac i patka — prve kopnene životinje što postadoše zrakoplovcima.

Prva ljudska bića ponijeta su balonom 21. studenoga 1783. Pred 300.000 fasciniranih gledatelja, među kojima je bio i

Benjamin Franklin, balon je napunjen toplim zrakom što ga je stvorila velika vatra i potom je uspio preletjeti 19 kilometara za dvadeset i tri minute.

Topli zrak nije, međutim, djelotvoran medij za podizanje i nošenje balona. On nije mnogo lakši od hladnoga zraka pa stoga nema veliku sposobnost dizanja, a ono malo što ima — gubi kako se hladi.

Međutim, 1766. godine Henry Cavendish proizveo je i proučavao plin vodik. To je bio najlakši poznati plin (i tada i danas), gustoće samo 1/14 gustoće zraka. Vodik, prema tome, ima najmanje tri puta veću sposobnost dizanja od toploga zraka, a ima je čak i onda kad nije topliji od okolnoga zraka pa ga stoga nije potrebno zagrijavati i ništa ne gubi hlađenjem.

Kad je francuski fizičar Jacques Alexandre Charles (1746—1823) čuo za balone Montgolfierovih, predložio je upotrebu vodika i ta je sugestija ostvarena prije konca godine. U prosincu 1783. sam Charles i jedan njegov prijatelj prvi su se uzdigli iznad Zemljine površine u balonu s vodikom. Balon ih je nosio 24 kilometra i potom se spustiše u nekom seocu gdje su seljaci, užasnuti pojavom nečega što je moralo djelovati poput zmaja s neba, hrabro napali balon vilama i »ubili« ga.

Putovanje balonom postalo je popularan sport koji je ujedinjavao posve novo uzbuđenje lebđenja zrakom i promatranja Zemljine površine iz visine, s onim pikantnim dodatkom opasnosti što silno povećava zadovoljstvo nekih ljudi.

Vrijednost balona kao instrumenta za istraživanja također je odmah postala očitom. Unutar godine dana od inoviranja balona, 1784, američki fizičar Joe Jeffries (1745—1819) uzdigao se balonom iznad Londona, noseći sa sobom barometar i druge instrumente, uz nakanu da skupi zrak na različitim visinama.

Te iste godine, francuski zrakoplovac Jean Pierre Blanchard (1750—1809) izumio je padobran. To je sredstvo u kojemu čovjek visi ispod velikoga kupolastog komada lanena platna, svile ili drugog materijala što hvata zrak, znatno povećavajući otpor zraka i usporavajući brzinu pada, kao posljedica toga, do sigurne razine. Sam je Blanchard prvi skočio padobranom 1784. godine i sretno preživio.

Brzo se pokazalo da balon može nadmašiti uspinjanje na planine kao način za proučavanje gornjih slojeva zraka. Godine 1804. francuski se kemičar Joseph Louis Gay-Lussac (1778—1850) uzdigao oko 7 kilometara iznad površine Zemlje i donio sa sobom uzorke zraka. To je visina zamalo jedan i pol puta veća od visine Mont Blanca. Štoviše, uspinjanje balonom bilo je daleko brže, manje naporno i, u cijelosti, manje opasno no što bi bio uspon na Mont Blanc. K tome, balonom se zrak može proučavati bilo gdje, dok se u slučaju Mont Blanca zrak može proučavati samo tamo.

Balon je bio prvo, ali ne i jedino sredstvo koje je ponijelo ljudska bića u zrak. Kako je devetnaesto stoljeće odmicalo, mnogi su ljudi eksperimentirali s jedrilicama koje su u biti bile zmajevi dovoljno veliki i dovoljno snažni da podnesu težinu čovjeka.

U tom se smislu istakao njemački inženjer aeronautike Otto Lilienthal (1848—96) koji je počeo konstruirati jedrilice 1877. Godine 1891. izveo je svoj prvi let jedrilicom i bio izvanredno uspješan.

Jedrenje zrakom nije tako pasivna aktivnost kao vožnja balonom. Osoba u jedrilici može, unutar granica, upravljati krilima i komandama naprave tako da usmjerava svoj let. Jedrenje zrakom postalo je pomodnim opasnim sportom 1890-ih godina, kao što je to vožnja balonom bila jedno stoljeće prije. Lilienthal se otisnuo u zrak više od dvije tisuće puta sve dok se, 1896. godine, iskušavajući novu konstrukciju kormila, nije srušio i umro od ozljeda.

ČOVJEKOV LET

Kako bi čovjek istinski mogao upravljati nekom aeronautičkom napravom? Pretpostavimo, primjerice, da gondola balona ponese parni stroj koji bi mogao okretati propeler. Zar to ne bi potjeralo balon kroz zrak, kao što je odgovarajuće sredstvo uspješno potjeralo brod kroz vodu? Imali bismo tada »zračni brod«.

No, nije bilo baš tako jednostavno. Parni stroj je teška naprava i morala bi sagorijevati velike količine teškoga drva ili ugljena. Bilo bi problem podići sve to u zrak. No, njemački izumitelj Nikolaus August Otto (1832—91) izradio je 1876. godine prvi praktični motor s unutrašnjim izgaranjem. On

se mogao izraditi tako da bude lakši i snažniji od parnog stroja. Zamisao o zrakoplovu tako se jače primakla području mogućega.

Sam balon, neizbježno okrugla oblika, nije aerodinamički djelotvoran. Njegovo probijanje zrakom uključivalo bi izlišan otpor zraka. Njemačkom izumitelju Ferdinandu von Zeppelinu (1838—1917) palo je na um da stavi balon, ili balone, u metalni okvir što bi cjelini dalo oblik cigare koja bi mogla rezati zrak uz minimalan otpor.

Bio bi, očito, potreban metal istodobno lagan i čvrst. Toj je svrsi odgovarao aluminij. On se prvi put proizvodio u većim količinama 1886. godine, metodom koju su, neovisno jedan o drugome, izumili američki kemičar Charles Martin Hall (1863—1914) i francuski kemičar Paul Louis Héroult (1863—1914).

Na dan 22. srpnja 1900. godine u zrak se uzdigla jedna od Zeppelinovih aluminijskih cigara. Ispod nje je bila gondola koja je nosila motor s unutrašnjim sagorijevanjem što je okretao propelere. Zrakoplov je uspješno letio, pa iako se nešto oštetio pri slijetanju, bio je to prvi čovjekov uspješan let uz pomoć mehaničke snage. Takav je zrakoplov nazvan također i «upravljivi balon« (dakle onaj kojim se može upravljati) ili kraće »dirižabl«; a u čast svoga izumitelja naziva se i »cepelin«.

Gotovo četrdeset godina dirižabli su bili lijepa i impresivna, iako ne svakidašnja, atrakcija neba. Najuspješniji je od njih bio njemački *Graf Zeppelin,* nazvan po izumitelju. No, ti su veliki objekti bili izloženi olujama i nesrećama, a posljednji udarac nanijet je 1937, kad je vatra zahvatila i uništila njemački dirižabl *Hindenburg.* Time je veliki dirižabl, kao putničko prijevozno sredstvo, nestao sa scene.

Još dok se bio gradio prvi uspješni dirižabl, bilo je također pokušaja gradnje onoga što bismo mogli nazvati »upravljivom jedrilicom«, tako što bi se u jedrilicu montirao motor s unutrašnjim sagorijevanjem.

Američki astronom Samuel Pierpont Langley (1834—1906) godinama se trudio oko tog zadatka. Između 1897. i 1903. godine sagradio je tri takve naprave no nije uspio, iako je svaki put bio sve bliže uspjehu.

Dva brata, Wilbur Wright (1867—1912) i Orville Wright (1871—1948) bila su zanimanjem popravljači bicikla a hobijem jedriličarski entuzijasti, te su se i oni trudili sagraditi

jedrilicu s mehaničkim pogonom. Pratili su Langleyjev rad, napravili oštroumne korekcije u konstrukciji te izumili sredstvo koje bijaše pretečom elerona ili pokretnoga krilca koje je pilotu omogućavalo lakše upravljanje sredstvom. Osim toga, sagradili su aerodinamički tunel u kojem su testirali svoje modele, konstruirali su nove motore besprimjerno niskog omjera težine u odnosu na snagu i, tijekom razdoblja od osam godina, nisu potrošili više od 1.000 dolara.

Orville Wright je 17. prosinca 1903, u Kitty Hawku u Južnoj Karolini, vodio prvi let nekoga sredstva s mehaničkom snagom koje je bilo teže od zraka. Takvo se sredstvo popularno naziva »avion«, a u zraku ga drži brzo gibanje zraka ispod krila.

Prvi let potrajao je gotovo jednu minutu i bio je dugačak samo 260 metara, no on je vodio do svega ostalog. Desetak godina kasnije zrakoplovi su vodili dvoboje u zraku iznad Evrope i pružali zrnce varava sjaja gluposti i jadu prvoga svjetskog rata. Godine 1927. američki je zrakoplovac Charles August Lindberg (1902—74) preletio bez spuštanja Atlantski ocean od New Yorka do Pariza i time je zrakoplov istinski odrastao.

GORNJA ATMOSFERA

Sve do početka suvremenog doba smatralo se jasnom činjenicom da se zrak iznad površine Zemlje prostire beskonačno uvis te da ispunjava svemir, dopirući do Mjeseca, planeta i zvjezdanih granica.

Kad bi, dakako, nebeska tijela prolazila zrakom okrećući se oko Zemlje, ona bi zbog otpora zraka gubila energiju, brzo se spiralno spuštala prema unutra i sudarila sa Zemljom. Činjenica da se to nije dogodilo bila je dovoljan dokaz u prilog tome da nebeska tijela *ne* prolaze kroz zrak. To, međutim, nije bilo jasno sve do kraja 1600-tih godina, kad su prvi put spoznati zakoni kretanja.

Kad su, prema tome, stari pisci zamišljali putovanje na Mjesec i još dalje, trebalo im je samo sredstvo za putovanje zrakom.

Najstariju prozu poznatih autora koja se bavila putovanjima na Mjesec napisao je grčki satiričar Lucian iz Samosate (120—180) oko 165. godine nove ere. U njegovoj priči *Icaro-*

menippus opisan je jedan filozof koji leti na Mjesec upotrebljavajući s jedne strane krilo lešinara a s druge krilo orla. U jednoj kasnijoj knjizi, *Istinita povijest*, Lucian opisuje brod kojeg je zahvatio zračni vrtlog te je nakon tjedan dana putovanja dospio na Mjesec.

Talijanski pjesnik Ludovico Ariosto (1474—1533) napisao je 1532. godine *Bijesnog Orlanda* u kojemu njegov junak Orlando dopire do Mjeseca uz pomoć istih kola koja su odnijela na nebo proroka Elijaha.

Prva priča o putovanju na Mjesec napisana na engleskome jeziku objavljena je posthumno 1638, autora Francisa Godwina (1562—1633). Zvala se *Čovjek na Mjesecu* i u njoj junak biva odvučen na Mjesec u kolima u koja su bile upregnute velike ptice slične labudu što su se, kako se govorilo, redovito selile na Mjesec.

No, pet godina kasnije nastala je prekretnica. Godine 1643. talijanski je fizičar Evangelista Torricelli (1608—47) pokazao kako je težina zraka dovoljna da drži stupac žive visok 76 centimetara. Težinu stupca zraka trebala bi, prema tome, biti jednaka težini takva stupca žive. Gustoća žive je 11.450 puta veća od gustoće zraka na morskoj razini, pa stoga ako bi zrak bio jednolike gustoće cijelom visinom, stupac potreban da drži u ravnoteži 76 centimetara žive bio bi visok 8,7 kilometara.

To je bilo prva indikacija da je atmosfera samo lokalna pojava — da ona predstavlja samo relativno tanak sloj oko Zemlje te da je iza nje vakuum.

Atmosfera, dakako, nema posvuda jedinstvenu gustoću. Atmosfera na morskoj razini nalazi se pod težinom svih slojeva zraka iznad, a to je stješnjava do njezine određene gustoće. Kako se uzdižemo više u zrak, sve više i više atmosfere leži ispod, a sve je manje i manje ima iznad za stvaranje pritiska. Pritisak zraka pada s visinom, a tako i gustoća.

To je prvi put dokazano uz pomoć stvarnoga promatranja 1646. godine, kad je francuski matematičar Blaise Pascal (1623—62) poslao svoga šurjaka da se uspne na lokalno brdo sa dva barometra. Zabilježeno je postupno opadanje pritiska zraka.

Kao rezultat toga smanjivanja gustoće, atmosfera se širi do većeg opsega i njezina je visina znatno veća od 8,7 kilometara, koliko bi bila u uvjetima konstantne gustoće. Smanjivanje gustoće je, međutim, takvo da, u svakom praktičnom

smislu, atmosfera ostaje krajnje tanak sloj iznad Zemljine površine. Tamo gdje je visina otprilike 8 kilometara, već je tako rijetka da jedva može omogućiti život. Iz tog su razloga boce s kisikom nužnost pri uspinjanju na visoke vrhove Himalaje.

Čak ni to saznanje o prirodi atmosfere vezane uz Zemlju te spoznaja da između astronomskih tijela leže ogromni prostori vakuuma, nisu potpuno zaustavili pisce znanstvene fantastike.

Kad je izumljen balon, to se činilo pravom metodom za prodor do velikih visina. Nestali su zračni vihori, ptice i krila. Još 1835. Edgar Allan Poe (1809—49) objavio je *Hansa Pfaalla,* priču u kojoj junak dopire do Mjeseca u balonu. Poe uvažava smanjivanje gustoće zraka, no rješava to zamišljajući napravu nazvanu »kondenzator« koja sabija zrak oko balona. U stvarnome životu, naravno, nema takvih »kondenzatora« čak ni danas, niti velikih mogućnosti da će ih biti u budućnosti, pa tako visinska granica do koje se balon može uspeti leži daleko ispod Mjeseca.

Ponajprije, postoji pitanje disanja. Godine 1875. tri su se francuska zrakoplovca uzdigla do visine od oko 9,6 kilometara u balonu, oko 800 metara više od vrha Mt. Everesta. Nažalost, dva zrakoplovca nisu preživjela to naporno iskustvo. Jedini preživjeli, Gaston Tissandier (1835—99), mogao je opisati simptome pomanjkanja zraka pa se tako on smatra ocem »avijacijske medicine«.

Avioni su opremljeni za let na velikim visinama slabije od balona. Kako se uzdižu i zrak postaje rjeđi, avioni moraju ići brže da bi postigli potreban uzgon, a to ograničava visinu do koje mogu ići. Sve u svemu, ako se hoće postići velike visine, valja se osloniti na balon.

No ako se baloni trebaju uzdići još više od Tissandierove granice na 9,6 kilometara, bilo je jasno da otvorene gondole moraju nestati. Bile su potrebne hermetički zatvorene kabine koje će unutra zadržati pritisak zraka na normalnoj razini. To je značilo da će se morati apsorbirati stvoreni ugljični dioksid, dok će se kisik obnavljati.

Taj problem nije bio tako težak kao zatvaranje normalnoga zraka u podmornici. U podmornici, vanjski pritisak može porasti do mnogo atmosfera. U gondoli balona, vanjski pritisak ne može pasti do manje od nula atmosfera. Stoga razli-

ka u podmornici može iznositi mnogo atmosfera, dok je u gondoli balona uvijek manja od jedne atmosfere.

K tome, za proizvodnju balona pronađeni su bolji materijali. Svila je prilično teška u debelim slojevima potrebnima da se izradi djelotvoran balon dovoljno velik kako bi se mogao uzdići do velikih visina. Osim toga, svila je, ma kako bila gusto tkana, porozna na vodik. Balon stoga polako gubi vodik i umjesto njega apsorbira zrak, tako da se uzgon postupno smanjuje. No kako je odmicalo dvadeseto stoljeće, za izradu balona mogle su se upotrebljavati plastične mase. One su mogle biti tanje i lakše od svile, a ipak dovoljno jake za tu svrhu, a uz to su bile manje porozne od svile.

Jedna opasnost kod balona (a i kod zrakoplova) nalazi se u zapaljivosti vodika. Vatra može nastati kao posljedica kakve slučajne iskre ili električnog pražnjenja, te uništiti vozilo i njegove putnike. Požar vodika uništio je, primjerice, *Hindenburga.*

No, 1805. godine škotski je kemičar William Ramsey (1852—1916) otkrio rijetki plin helij, drugi iza vodika po niskoj gustoći. Gustoća helija je dvostruko veća od gustoće vodika, no ipak helij ima više od devet desetina moći uzgona vodika. Njegova neznatna slabija sposobnost u odnosu na vodik s obzirom na moć uzgona mnogo je više no samo nadoknađena činjenicom da je helij apsolutno inertan i nije zapaljiv. K tome, on ne izlazi tako lako kroz materijal balona kao što to čini vodik.

Auguste Piccard koji će kasnije konstruirati batiskaf, upotrijebio je 1931. godine plastični balon s hermetički zatvorenom gondolom i uzdigao se 15,8 kilometara u zrak — gotovo dvostruko više od Mt. Everesta — leteći osamnaest sati.

Tada su se prvi put ljudska bića ili, zapravo, bilo koji živi organizam (osim, možda, mikroskopskih spora nošenih vjetrom) uzdigla iznad najviših oblaka.

One promjene koje obilježavaju vrijeme — stvaranje oblaka, kondenziranje, turbulencija — događaju se na najnižoj razini atmosfere. To je najniže područje stoga nazvano »troposfera« (»sfera promjene«), a ime mu je dao 1908. godine francuski meteorolog Léon Teisserence de Bort (1855—1913).

Gornju granicu troposfere Teisserence de Bort nazvao je »tropopauza«. Visina tropopauze mijenja se s geografskom širinom, od oko 16 kilometara na ekvatoru do samo 8 kilometara na polovima.

Iznad tropopauze, kako je vjerovao Teisserence de Bort, rijetka je atmosfera bez turbulencije i promjene te postoji u mirnim slojevima. Nazvao ju je »stratosferom« (»sferom slojeva«). Upravo je u stratosferu Piccard uspješno ostvario prvi čovjekov prodor.

Baloni odlaze još više. Godine 1961, jedan balon sa dva američka pomorska oficira u njemu dosegao je visinu od 34,668 kilometara, a 1966. postavljen je neslužbeni rekord od 37,7 kilometara. Baloni bez posade dosegli su visine od gotovo 47 kilometara, što više od pet puta premašuje visinu Mt. Everesta.

RADIO-VALOVI I ELEKTRONI

Ne čini se vjerojatnim da će baloni, ili bilo koje sredstvo kojemu je potreban zrak kako bi se održali visoko iznad Zemljine površine, otići znatno više od rekorda postignutih u minula dva desetljeća. Postoje, međutim, indirektni načini da se proučava atmosfera na još većim visinama.

Na dan 12. prosinca 1901. talijanski inženjer elektrotehnike Guglielmo Marconi (1847—1937) uspio je poslati radijske signale iz Engleske na Newfoundland preko Atlantskog oceana. Obično se smatra da to predstavlja otkriće radija. Takvi se radio-signali prenose uz pomoć radio-valova, sličnih po prirodi svjetlosnim valovima, no oko milijun puta dužih.

Poput svjetlosnih valova, i radio-valovi putuju u ravnim linijama, pa se prema tome transmisija radio-valova zapravo ne bi mogla otkriti iza horizonta. Pa ipak, Marconijevi su signali putovali od Engleske do Newfoundlanda krivuljom Zemlje.

Britansko-američki inženjer elektrotehnike Arthur Edwin Kennelly (1861—1939) i engleski inženjer elektrotehnike Cliver Heaviside (1850—1925) ustvrdili su neovisno jedan o drugome 1902. godine da se radio-valovi reflektiraju od iona (djelića atoma s električnim nabojem) te da visoko u atmosferi mora postojati sloj iona koji odbija radio-valove. (To je kasnije nazvano »Kennelly-Heavisideov sloj«.) Odbijajući se između Kennelly-Heavisideova sloja i tla, radio-signali mogu putovati krivuljom Zemljina globusa.

Engleski fizičar Edward Victor Appleton (1902—65), proučavajući način na koji se zrake radio-valova međusobno is-

prepliću, podnio je 1922. uvjerljiv dokaz o tome kako su teorijske postavke Kennellyja i Heavisidea točne te kako doista postoji jedan sloj bogat ionima u gornjoj atmosferi. Do 1924. uspio je pokazati da se Kenelly-Heavisideov sloj nalazi oko 95 kilometara iznad Zemljine površine. On je također iznio dokaze o postojanju još viših područja bogatih ionima (»Appletonov sloj«), a 1926. je pokazao da su neki od njih na visini od čak 240 kilometara.

Dio atmosfere koji se nalazi između visine od 50 i 300 kilometara nazvan je prema tome »ionosfera«.

Gustoća plinova u ionosferi nalazi se samo na razini jednog dijela milijarde u usporedbi s atmosferom na razini mora, no ona je ipak mnogo veća od krajnje rijetkih isparina prisutnih u dalekom svemiru i dovoljno je gusta za stvaranje lakozamjetljivih pojava.

Zemlju, primjerice, neprekidno bombardiraju bezbrojni sićušni djelići tvari (vjerojatno ostaci davno razbijenih kometa) koji ulaze u atmosferu kao »meteoroidi«, veličine glave pribadače ili manji. Dok brzo putuju atmosferom, brzinama 20 ili više kilometara u sekundi, oni se sabijaju i zagrijavaju plinove ispred sebe, dosežući temperature pri kojima vidljivo plamte te se mogu otkriti sa Zemlje golim okom kao »meteori« ili »zvijezde« koje padaju«. Ti meteori se žare i sagorijevaju dok su još u ionosferi. Oni ne samo što dokazuju postojanje rijetkih plinova toga područja koji služe kao zaštita od mnogobrojna sićušna bombardiranja, već nam također pružaju podatke koji služe da bi nas opskrbili informacijama o tim plinovima.

Neke jasno vidljive pojave postoje i na još većim visinama.

One ovise o činjenici da je sama Zemlja magnet, činjenici koju je prvi put jasno dokazao 1600. godine engleski fizičar William Gilbert (1544-1603). To znači da je Zemlja okružena magnetskim silnicama, kao što bi bio i svaki magnet.

Objekt u kretanju koji ima električni naboj djeluje međusobno s magnetskim silnicama te mora trošiti energiju kako bi ih prešao. Takvim objektima s nabojem potrebno je manje energije ako se kreću duž silnica nego ako prelaze preko njih (kao što je i nama potrebno manje energije za hodanje ravnim podom nego za uspinjanje i silaženje stubištem).

Sva je tvar sastavljena od atoma koji su, opet, sastavljeni, uglavnom, od tri vrste »subatomskih čestica«. Od tih subatomskih čestica, dvije imaju električni naboj. »Proton« ima pozitivni električni naboj, a »elektron« negativni.

Elektron, što ga je prvi identificirao i proučavao 1897. godine engleski fizičar Joseph John Thomson (1856—1940), mnogo je lakši od te dvije čestice te ima samo 1/1.837 mase vodikova atoma (najmanjega od svih atoma). Elektron, zbog njegove lagašnosti, magnetske silnice osobito lako skreću sa smjera te obično juri duž njih u gustim spiralama.

Magnetske silnice Zemlje idu od sjevernoga magnetskog pola do južnoga magnetskog pola, a između toga se protežu daleko u prostor. Sjeverni magnetski pol nalazi se u najsjevernijem dijelu Kanade, a južni je magnetski pol uz rub Antarktike. Magnetske silnice, prema tome, spuštaju se u krivulji prema Zemlji u dvije polarne regije, a elektroni uhvaćeni u te silnice također putuju prema dolje.

Dok se elektroni spuštaju, dospijevaju do gornjih dosega atmosfere gdje se sudaraju s atomima. Dio energije sudara pretvara se u bljeskove svjetlosti. Stoga su polarna područja scene svjetlosnih parada vidljivih za vrijeme dugih noći.

To su »aurorae«, prema latinskoj riječi za »zoru«, jer su putnici odlazeći prema sjeveru vidjeli blijedu svjetlost na sjevernome horizontu pa su pomislili kako izgleda poput svitanja u pogrešnome smjeru. »Sjeverna svjetlost« Arktika je »Aurora Borealis« (»sjeverna zora«), a »južna svjetlost« Antarktike je »Aurora Australis« (»južna zora«).

Promjenljivi šareni traci svjetla čine polarnu svjetlost prekrasnim prizorom, a visina na kojoj su vidljivi proteže se od oko 100 kilometara, pa sve do ekstrema od 1.000 ili čak 2.000 kilometara. Na tim ekstremnim visinama još ima dovoljno raspršenih atmosferskih atoma s kojima se mogu sudarati jureći elektroni, stvarajući vidljivi efekt.

Područje iza ionosfere u kojem mogu nastajati efekti polarne svjetlosti zove se »egzosfera«. Egzosfera nezamjetljivo nestaje u vakuum međuplanetarnog prostora. (Taj vakuum nije *prava* praznina. Čak i vrlo daleko od svakog planeta postoje izvanredno rijetka raspršenja raznih vrsta atoma — no nedovoljna za stvaranje vidljive polarne svjetlosti.)

Prema tome, možemo reći da se Zemljina atmosfera, procijenjena prema zamjetljivim efektima, proteže iznad Zemljine površine oko 2.000 kilometara. Prema krajnjim procje-

nama, Zemljina je atmosfera dakle lokalna pojava koja se proteže do samo 1/200 udaljenosti od Mjeseca. Štoviše, baloni bez posade uzdigli su se do manje od 1/8.000 udaljenosti do Mjeseca, a baloni s posadom samo do 1/10.000 te udaljenosti.

8

Onkraj balona

AKCIJA I REAKCIJA

Onima koji nisu vidjeli ništa onkraj balona moglo se učiniti da je horizont čovječanstva uvis bio oštro ograničen u tom smjeru, možda zauvijek.

Pa ipak, razmotrimo kretanje.

Kad hodamo, napredujemo prema naprijed odbijajući se nogama unatrag od tla. Ne uviđate li značenje toga odbijanja, pokušajte hodati po vrlo glatkome ledu gdje, zbog nedostatka trenja, vaše noge ne mogu dobiti uporište na površini na kojoj stojite. Klizat ćete se svakojako, vjerojatno i pasti, no nećete napredovati. To vrijedi za sve kopnene životinje, bilo da hodaju kao i mi, trče poput konja, skaču poput klokana ili gmižu poput zmija.

Slično tome, u vodi napredujemo odbijajući se unatrag o vodu rukama i nogama, kao što ribe čine svojim repovima, tuljani i pingvini perajama, kitovi repovima i tako dalje.

Propeleri čovjekovih naprava mehaničke su analogije koje odgovaraju perajama morskih stvorenja i krilima ptica.

Tako dugo dok možemo napredovati samo uz pomoć odbijanja od medija po kojem ili kroz koji se gibamo, tako dugo prostor predstavlja za nas ozbiljan problem. Prostor je u biti vakuum i ne sadrži ništa od čega bismo se mogli odbijati.

Pa ipak je gibanje prostorom moguće, jer se i Mjesec i Zemlja gibaju prostorom, činili su to milijarde godina i nastavit će to, najvjerojatnije, činiti još milijarde godina.

U slučaju nebeskih tijela, presudna je brzina. Kad bi Mjesec stalno usporavao svoje gibanje oko Zemlje (kao što i bi kad bi putovao zrakom), on bi se spiralno približavao Zemlji i konačno sudario s njom. Slično tome, Zemlja koja bi se usporavala spiralno bi se približavala Suncu i sudarila s njim.

Ako bi, na neki način, neko zemaljsko vozilo moglo postići dovoljnu brzinu, ono bi moglo ući u orbitu oko Zemlje i ostati tamo beskrajno (ako bi bilo dovoljno visoko da izbjegne gubitak energije zbog trenja s ostacima zraka u gornjoj atmosferi). Minimalna brzina potrebna za ulazak u orbitu je oko 8 kilometara u sekundi. Brzina od 11,2 kilometra u sekundi (»brzina umicanja«), omogućit će vozilu da se zauvijek udalji od Zemlje.

Ako bi vozilo postiglo samo dovoljnu brzinu da uđe u orbitu i kad ne bi moglo učiniti ništa više zbog nepostojanja medija od kojeg bi se odbijalo, tada bi moglo samo reagirati na gravitacijska polja. Nalazilo bi se u »slobodnom padu«, gibajući se automatski nekom orbitom, kao što Mjesec čini oko Zemlje i Zemlja oko Sunca.

Neko vozilo koje bi kružilo orbitom, u slobodnom padu oko Zemlje, ipak bi moglo biti silno korisno unatoč nesposobnosti manevriranja. Ono bi moglo nositi instrumente koji bi nam mogli kazati mnogo toga o uvjetima u svemiru što ih mi ne možemo saznati uz pomoć naprava ograničenih na površinu.

Pitanje je, prema tome, može li neko vozilo postići dostatnu brzinu da uđe u orbitu na dovoljno velikoj visini kako bi u toj orbiti moglo ostati znatnije vremensko razdoblje.

Tako dugo dok moramo upotrebljavati naprave koje napreduju odbijajući se od nekog medija, činilo bi se da su šanse ništavne. Najbrža naprava, naravno ona što ju je napravio čovjek, koja ostvaruje takvo napredovanje jest avion pokretan propelerom, a najveća brzina što su je postigli takvi avioni je oko 0,25 kilometara u sekundi. To je samo 1/32 brzine potrebne da bi neki objekt stigao u orbitu oko Zemlje. Nije vjerojatno da bi bilo kakva usavršenja aviona pokretanih propelerom mogla značajno povećati tu brzinu.

Postoji li neki način gibanja prema naprijed bez odbijanja od medija?

Odgovor je — da! Postoji zapravo jedan živi organizam koji upotrebljava način propulzije bitno drukčiji od svih koje sam dosad opisao.

Lignja se može pokretati izbacivanjem mlaza vode unatrag. Gibanje mlaza unatrag uravnoteženo je s gibanjem lignje prema naprijed. Moglo bi se činiti da se mlaz vode odbija od okolne vode kako bi tjerao lignju naprijed, no nije tako. Ako bi lignja bila u vakuumu (i ako bi mogla preživjeti u takvim uvjetima) te ako bi imala vodu koju će štrcati unatrag, ipak bi mogla napredovati, iako se izbačena voda ne bi imala od čega odbijati.

Zamislite sebe kako sjedite na nekoj površini gdje nema trenja — na vrlo ulaštenu podu, glatkome zaleđenom ribnjaku ili nečemu takvom, nečemu toliko bez trenja da se ne biste mogli pokretati odbijajući se rukama od materijala na kojemu sjedite, jednostavno stoga što bi se vaše ruke beskorisno klizale uokolo.

Zamislite, nadalje, da u krilu imate hrpu dosta teškoga kamenja. Ako biste bacili kamen u određenom smjeru, otkrili biste kako klizite polako u suprotnome smjeru. Ako biste bacili drugi kamen, pa potom treći, zatim četvrti, sve u istome određenom smjeru, vaša bi brzina postajala veća sa svakim bačenim kamenom. I opet, to se ne događa zato što se bačeni kamen odbija od zraka. To bi se dogodilo i kad biste bili u zaštitnome svemirskom odijelu i kad biste sjedili okruženi vakuumom. Zapravo, u vakuumu bi to bilo još djelotvornije jer ne bi bilo otpora zraka koji bi smetao gibanju bilo kamena bilo vas.

Ta metoda započinjanja iz mirovanja i stvaranja gibanja u dva suprotna smjera primjer je nečega što se zove »zakon očuvanja momenta«. Ovaj određeni primjer toga zakona zove se također »zakon akcije i reakcije«, a na sistematičan ga je način prvi iznio Newton 1687. godine. Još jedno je njegovo ime »Treći Newtonov zakon gibanja«.

(U početku, zakon akcije i reakcije bio je posve teorijski ukoliko je riječ o svemiru, jer Newton nikad nije bio u svemiru da ispita svoju ideju, no otada je on ispitivan i više nego dovoljno pa možete biti sigurni da vrijedi.)

Taj se princip može primijeniti kod aviona. Pretpostavimo da gorivo sagorijeva u motoru te da vrući ispušni plinovi naglo izbijaju van sa stražnje strane aviona kroz otvor, stvarajući vrlo brzi »mlaz« plina. Izbijanje mlaza unatrag gura avion prema naprijed.

Prvi koji je izumio praktičan mlazni motor za avion bio je Frank Whittle (1907—), jedan britanski inženjer. On

je 1930. godine patentirao osnovni izum. Nijemci su prvi poletjeli mlaznim avionom u kolovozu 1939, a Britanci u svibnju 1941. Uskoro su ih imali i Amerikanci i potkraj drugoga svjetskog rata mlazni su se avioni upotrebljavali u borbama.

Mlazni pogon naglo se razvijao. Za nekoliko su godina mlazni avioni letjeli brže od onih s propelerima i komercijalna su putovanja zrakom potisnula sve ostale vrste putovanja na velike udaljenosti s uvođenjem vrlo velikih, vrlo brzih mlaznih aviona.

Američki pilot Charles E. Yeager (1932—) poletio je 14. listopada 1947. brže od zvuka, o čemu se pisalo kao o »probijanju zvučnog zida«. On je postigao brzinu od 1.080 kilometara na sat u uvjetima temperature zraka i pritiska u kojima je brzina zvuka bila 1.060 kilometara na sat.

Mlazni avioni otada su letjeli brzinama sve do oko 7.250 kilometara na sat ili negdje oko 2 kilometra u sekundi, no čak je i to samo četvrtina brzine potrebne da bi neki objekt dospio u orbitu oko Zemlje.

Da bi se postigla potrebna brzina, pomoglo bi kad bi se naprava mogla ubrzavati na većim visinama, gdje je otpor zraka dovoljno nizak kako ne bi previše smetao (ili kako ne bi suviše opasno zagrijao napravu, što se toga tiče). Međutim, mlaznom je avionu potreban kisik da bi njegovo gorivo sagorijevalo, a taj se kisik mora dobivati iz atmosfere. Ako bi avion bio dovoljno visoko da lako postigne ubrzanje bez pretjerane bojazni od otpora zraka i zagrijavanja, tada u vanjskoj atmosferi ne bi bilo dovoljno pritiska kisika za sagorijevanje goriva.

Čini se da čak ni mlazni avioni nisu odgovor na problem istraživanja svemira.

RAKETE U ZAČETKU

Potrebna je, prema tome, naprava koja primjenjuje mlazni princip i sagorijeva nešto čemu za sagorijevanje nije potreban atmosferski kisik.

Prva tvar koja, kako se otkrilo, sagorijeva bez atmosferskog kisika bila je mješavina kalijeva nitrata (salitre), sumpora i drvenog ugljena. Sumpor i drveni ugljen su zapaljivi; to znači da će se brzo spojiit s kisikom. Kisik se može pribaviti iz kalijeva nitrata, gdje se nalazi u kemijskom spo-

ju s kalijem i dušikom. Kad se te tri tvari izmiješaju u odgovarajućim omjerima i zagrijavaju, kemijsko spajanje nastaje naglo i dovodi do proizvodnje velike količine pare.

Ta je mješavina »barut«. Ako se ona nalazi u zatvorenome prostoru, ipak dolazi do naglog razvijanja plina, nakon zagrijavanja, jer nije potreban atmosferski kisik. Pritisak isparina koje se stvaraju može raznijeti spremnik, uz glasan prasak eksplozije. Barut je bio prvi otkriveni »eksploziv«.

Barut je otkriven u Kini tijekom srednjega vijeka, a saznanje o njemu stiglo je u Evropu 1200-tih godina. Oko šest stoljeća poslije toga ostao je jedinim poznatim eksplozivom.

Ako se barut stavi u cilindar s malim otvorom na jednom kraju, tada kad se barut zapali, pare snažno izbijaju kroz taj mali otvor, a sam se cilindar brzo giba u suprotnome smjeru. Rezultat je »raketa«.

Rakete su se prvi put pojavile u ratovanju 1232. godine, kad su ih Kinezi upotrijebili protiv navale Mongola. Stoljećima kasnije upotrebljavale su se povremeno. Postupno su postajale masivnije i snažnije te je raketni princip odašiljao velike količine brzih projektila na neprijateljske snage. Indijska vojska Tipu Sahiba (1751—99) upotrijebila ih je u 1790-im godinama protiv Britanaca.

Britanski artiljerijski oficir William Congreve (1772—1828), doživjevši takve rakete, odlučio ih je usavršiti. Godine 1805. sagradio je raketu dugačku jedan metar sa stabilizatorom koji će joj omogućiti kretanje u zadanome smjeru, bez prevrtanja ili mijenjanja smjera. Sam je stabilizator bio dugačak 5 metara, a domet rakete bio je 1,8 kilometara.

Takozvane »Congreveove rakete« Britanci su upotrebljavali u bombardiranjima tijekom napoleonskih ratova. Upotrijebili su ih također za bombardiranje Fort McHenryja u baltimorskoj luci tijekom rata 1812. godine. Francis Scott Key (1779—1843) koji je promatrao to bombardiranje i o toj zgodi napisao stihove danas poznate kao »Zastava posuta zvjezdicama«*, spominjao je »crveno blještavilo raketa«, misleći na Congreveove rakete.

Drugi način odašiljanja masa pri velikim brzinama na neprijateljske snage bila je konvencionalna artiljerija. Određene količine baruta stavljale su se u cilindar zatvoren na jednome kraju (top), a ispred njega se stavljala kamena ili

* Star — Spangled Banner, zastava SAD (prev.)

metalna kugla koja je čvrsto prianjala. Eksplozija baruta izbacivala je »topovsko tane« kroz otvoreni kraj topa na neprijatelja.

Topovi su bili teški, nespretni, teško ih je bilo proizvesti, a tanad što su je izbacivali kretala se najbrže pri napuštanju ždrijela cilindra. Ispaljivanje je uz to obuhvaćalo snažno trzanje oružja. U usporedbi s njima, rakete su bile lakše, jednostavnije za rukovanje i proizvodnju i kretale su se sve brže i brže sve dok je bilo baruta. Štoviše, nije bilo trzanja.

Pa ipak, zahvaljujući napretku artiljerije početkom devetnaestog stoljeća, topovska je paljba bila mnogo preciznija od raketne. Uz to, artiljerija je odašiljala veće mase. Congreveove rakete tako postadoše zastarjele.

No, raketna tehnika nije posve odumrla pa su se rakete i dalje upotrebljavale za manje funkcije u ratovanju. Tijekom drugoga svjetskog rata rakete opet postadoše važne. Američka je vojska, primjerice, razvila »bazuku«. Radila je na principu puhaljke kroz koju se može izbaciti otrovna strelica uz pomoć daha. Bazuka se sastojala od cilindra dugačkog 1,5 metara kroz koji bi se probila zapaljena raketa što se mogla djelotvorno naciljati na dolazeće tenkove. Bazukom je mogao gađati jedan jedini vojnik. Nijedan drugi dio artiljerije odgovarajuće snage nije mogao nositi jedan vojnik; niti se moglo osloniti na to da će neki drugi dio artiljerije biti bestrzajan.

Sovjetska vojska djelotvorno je upotrebljavala gusto zbijene redove raketnih lansera, oružje što su ga zvali »kačuša«.

Rakete nisu bile smatrane samo ratnim oružjem. Rakete su, upotrebljavajući barut, bile, uostalom, primjer pokretnoga objekta koji je mogao djelovati u vakuumu, manevrirajući tamo, pa ih se stoga moglo zamisliti kako nose instrumente, čak i sama ljudska bića, dalje od atmosfere.

To je bilo prvi put opisano u znanstvenofantastičnom romanu što ga je napisao nitko drugi do francuski vojnik, duelist i pjesnik, dugonosi Cyrano de Bergerac (1619—55). On je napisao znanstvenofantastičnu priču *Putovanje na Mjesec i Sunce* objavljenu posthumno 1657. godine, gdje njegov junak planira putovanje na Mjesec raznim majstorlucima, većinom fantastičnim i beskorisnim. No jedan je od njih uključivao upotrebu raketa koje, međutim, nisu bile dovoljne da ga odnesu na Mjesec. Toj je pothvat doveden do uspješna završetka uz pomoć jedne druge metode.

Cyranov zamah mašte zbio se trideset godina prije nego što je Newton postavio raketnu tehniku na čvrste teorijske osnove svojim Trećim zakonom gibanja. No, Cyranovu raketnu tehniku nisu preuzeli drugi pisci znanstvene fantastike.

Američki pedagog George Tucker (1775—1861) objavio je 1827. *Putovanje na Mjesec* u kojem je za tu svrhu primijenio neku supstancu koja neutralizira gravitaciju. Isti je taj izum upotrijebio 1901. godine britanski pisac H. G. Wells (1866—1946). Nažalost, antigravitacija je još i danas fantazija. Ona nije samo onkraj granica sadašnje tehnologije, već je možda čak i teorijski nemoguća (iako je uvijek opasno davati takve izjave).

Kao što prije rekoh, 1835. godine Edgar Allan Poe upotrijebio je balon da bi svoga junaka odveo na Mjesec. To je, naravno, posve nemoguće.

Francuski pisac Jules Verne (1828—1905) napisao je 1865. godine *Od Zemlje do Mjeseca*, gdje njegovi junaci stižu na Mjesec nakon što bijahu izbačeni iz divovskog topa.

To bi doista moglo uspjeti, ukoliko bi se naime jedan predmet mogao eventualno ispaliti uz tako ogroman naboj eksploziva da izleti iz ždrijela topa brzinom većom od brzine umicanja. Predmet bi tada bio izbačen kroz atmosferu (pod uvjetom da je brzina dovoljno veća od brzine umicanja, kako usporavajuće djelovanje otpora zraka ne bi tu brzinu svelo na veličinu ispod kritične) te u svemir, kojim bi putovao beskonačno. Njegova bi staza krivudala pod utjecajem Zemljine sile teže, no ako bi se to uzelo u obzir, te ako bi se ispravno usmjerio, njegovo bi ga gibanje moglo odvesti na Mjesec.

Nevolja je, međutim, u tome što se puna brzina predmeta postiže prolaženjem kroz dužinu topa i što bi naglo ubrzanje smrskalo i ubilo svakog čovjeka u vozilu. Raketa, s druge strane, postiže svoje brzine kroz mnogo kilometara, i to tako dugo dok njezino gorivo sagorijeva i dok plin što se razvija izbija u mlazu unatrag. Ubrzanje je stoga manje, pa iako raketi treba više vremena nego objektu ispaljenu iz topa da postigne brzinu umicanja, njezina je prednost, u najmanju ruku, u tome što joj posada ostaje živa.

Godine 1869, američki pisac Edward Everett Hale (1822—1909) napisao je priču pod naslovom *Mjesec od opeke* u kojoj jedno nedovršeno svemirsko vozilo dospijeva slučajno u orbitu oko Zemlje, izbačeno snagom dvaju divovskih za-

mašnjaka. To u biti odgovara izbacivanju iz topa pa se mogu iznijeti iste zamjerke.

Jedina raketa koja se pojavila u znanstvenoj fantastici devetnaestog stoljeća nalazila se u dosta nepoznatoj knjizi, *Putovanje na Veneru*, koju je 1865. objavio francuski pisac Achille Eyraud. On je, međutim, pogrešno zamislio princip rada rakete. Držao je da se ispusni plinovi rakete mogu hvatati, skupljati te uvijek iznova upotrebljavati.

Sve u svemu, izumitelji su se mnogo bolje snalazili s raketnim principom od pisaca znanstvene fantastike.

Otprilike u vrijeme kad je Congreve proizvodio svoje rakete, jedan talijanski izrađivač vatrometa, Claude Ruggieri, odašiljao je u zrak miševe i štakore u kontejnerima pričvršćenima na rakete te ih padobranom sigurno vraćao natrag na Zemlju. Priča se da je namjeravao upotrijebiti više velikih raketa zajedno koje bi bile dovoljno snažne da podignu ovcu, možda i kakva dječaka, no policija je to spriječila.

Zatim postoji slučaj ruskog proizvođača eksploziva Nikolaja Ivanoviča Kibalčiča koji je izradio bombe upotrijebljene za ubojstvo ruskoga cara Aleksandra II 1881. godine.

Kibalčiču se sudilo (zajedno s drugima), osuđen je i smaknut. No dok je čekao smaknuće, izradio je plan za letalo na raketni pogon, podrobno ga napisao i predao zatvorskoj upravi. Uprava je, ne hoteći se baviti radom jednoga revolucionara, plan pohranila i zaključala, gdje je ostao do ruske Revolucije.

Još je poduzetniji bio jedan njemački student prava, Hermann Ganswindt (1856—1934) koji se bavio svim vrstama fantastičnih vozila kakva su zračni brodovi i helikopteri. On je već 1891. razmišljao o vozilima na raketni pogon i, prvi put u povijesti, pokušao određeno izraditi nacrt za napravu na raketni pogon koja bi postigla brzinu umicanja. On, međutim, nije bio znanstvenik pa je njegov nacrt bio posve neizvediv.

RAKETE U EKSPERIMENTU

Prva osoba koja se pozabavila raketnim letovima u svemir na istinski znanstveni način bio je ruski fizičar Konstantin Ciolkovski (1857—1935).

Hendikepiran gotovo potpunom gluhoćom kao posljedicom streptokokne infekcije kad mu je bilo devet godina, kao i znanstvenom nazadnošću carističke Rusije, Ciolovski se ipak obrazovao do stupnja na kojem je mogao pisati znanstvene radove iz kemije i fizike.

Godine 1895. Ciolkovski je u svojim radovima prvi put spomenuo svemirski let na raketni pogon.

U to vrijeme barut više nije bio jedini poznati eksploziv. Novi eksplozivi, kao što su nitroceluloza i nitroglicerin, bili su mnogo snažniji. Bilo je jasno da barut nije dovoljno snažan kako bi pognao raketu do brzine umicanja pa je Ganswindt, primjerice, za tu svrhu zamislio upotrebu dinamita. (Dinamit je nitroglicerin pomiješan s inertnim materijalom kako bi bio siguran za rukovanje.)

Ciolovski, međutim, nije želio upotrijebiti uobičajene eksplozive, smatrajući njihovo ponašanje suviše nepredvidivim. Želio je stvaranje energije koje će se lako kontrolirati. Godine 1898. on je razradio, matematički, djelovanje brzine raketnih ispušnih plinova na njezin rad, zaključivši da je potrebno neko tekuće gorivo kao što je kerozin. Ako se on, malo po malo, miješa s tekućim kisikom, i ako ta mješavina sagorijeva, tada bi se mogla postići brzina umicanja. Naravno, svemirski brod morao bi nositi i kerozin i tekući kisik, tako da ne ovisi o atmosferi.

Godine 1903. započeo je seriju članaka za jedan avijacijski časopis u kojima je temeljito obradio teoriju raketne tehnike. Tada i kasnije, Ciolkovski je pisao o svemirskim odijelima, umjetnim satelitima, svemirskim stanicama i kolonizaciji Sunčeva sustava. Kasnije u životu napisao je znanstvenofantastični roman *Izvan Zemlje* u kojemu je iznio svoje teorije za one koji radije čitaju o avanturama nego li o jednadžbama.

U Sjedinjenim Državama, američki fizičar Robert Hutchings Goddard (1882—1945) zainteresirao se za raketnu tehniku u ranim mladenačkim godinama. Do 1914. godine imao je dva patenta koja su se odnosila na raketne naprave, a 1919. objavio je knjižicu pod naslovom *Dosezanje najdaljih visina* u kojoj govori o mogućem svemirskom letu na raketni pogon.

U svemu tome pretečom mu je bio Ciolkovski (čiji rad u Rusiji zapravo nije bio poznat ostalom svijetu), no Goddard je potom učinio odlučujući korak stvarnom gradnjom raketa

koje će teoriju pretvoriti u praksu. Eksperimentirao je najprije s raketama na barut, no 1923. počeo je upotrebljavati benzin i tekući kisik te je tako bio prva osoba u svijetu koja je stvarno konstruirala rakete na tekuća goriva.

Goddard je 16. ožujka 1926. ispalio tu prvu raketu na tekuće gorivo u Aubrunu u Massachusettsu. Njegova ga je žena fotografirala kako stoji pokraj rakete prije lansiranja. Raketa je bila visoka oko 1,25 metara, promjera 15 centimetara, a nalazila se u okviru poput dječje penjalke od prečaka. Nakon što je ispaljena, preletjela je vodoravno udaljenost od 56 metara za 2,5 sekundi, dosegavši visinu od 12 metara i najvišu brzinu oko 95 kilometara na sat.

To nije bilo ništa impresivnije od prvoga avionskog leta braće Wright u Kitty Hawku četvrt stoljeća prije, no značenje je bilo jednako veliko.

Goddard je uspio dobiti nekoliko tisuća dolara od Smithsonianove zaklade i u srpnju 1929. lansirao je veću raketu pokraj Worchestera u Massachusettsu, koja je letjela brže i više od prve. Još je važnije od toga da je nosila barometar, termometar i malu kameru da snima njihove rezultate. Bila je to prva raketa koja je nosila instrumente.

Ta je raketa uznemirila Goddardove susjede pa mu je policija naredila da prekine svoje eksperimente, zbog remećenja mira. Štoviše, *New York Times* ga je zbog toga izgrdio, kao što je prije izgrdio Langleya. Timesov uvodničar bio je uvjeren da se ispušni plinovi rakete moraju odbijati od okolnog medija pa da to, prema tome, ne bi funkcioniralo u svemirskom vakuumu. S tog položaja krajnjeg neznanja, uvodničar se drznuo održati lekciju Goddardu, potpuno kvalificiranu fizičaru, o osnovnim elementima fizike.

Srećom, za Goddardov se rad zainteresirao Lindbergh koji je netom obavio svoj epohalni let preko Atlantika. On je nagovorio filantropa Daniela Guggenheima (1856—1930) da dodijeli Goddardu dotaciju od 50.000 dolara. Tim je sredstvima Goddard podigao eksperimentalnu stanicu na jednome osamljenom mjestu u New Mexicu, gdje je mogao mirno raditi.

U New Mexicu je sagradio veće rakete te je između 1930. i 1935. godine lansirao neke koje su postigle brzine do 885 kilometara na sat i visine od 2,5 kilometara.

On je razradio mnoge ideje koje su kasnije postale standardima u raketnoj tehnici. Konstruirao je komore za izgaranje odgovarajućeg oblika te sagorijevao benzin kisikom na

takav način da su hladne tekućine hladile stijenke komore prije izgaranja. Razradio je također sisteme za upravljanje raketom u letu, upotrebom naprave slične kormilu za skretanje ispušnih plinova, sa žiroskopima koji su održavali raketu u odgovarajućem smjeru kad bi skrenula s kursa.

Uz to, razmišljao je i o upotrebi jedne rakete koja bi ponijela uvis manju raketu. Kad bi prva raketa dosegla svoju najveću visinu, ona bi se odbacila te bi manja raketa počela sagorijevati svoje gorivo i uspinjati se počevši od brzine i visine što ih je već postigla. Ona bi mogla nositi i treću, još manju raketu. Takva »višefazna raketa« mogla bi se uspeti daleko više od jednofazne s istom ukupnom količinom goriva, jer se kod multifazne rakete samo manji objekti šalju uvis, a masa početnih raketa se odbacuje kao nepotreban balast.

Sve u svemu, Goddard je skupio 214 patenata s područja raketne tehnike.

Goddard je, međutim, radio izolirano i nije ga podržavala vlada. Tijekom drugoga svjetskog rata radio je na nekoliko manjih projekata, a bazuka je napravljena na temelju jednoga od njegovih izuma. U cjelini, njegov rad nije zagrijao svijet za ideju raketne tehnike, ništa više no rad Ciolkovskog.

U tom je smislu bio značajniji Hermann Julius Oberth (1894—), austrijsko-madžarski fizičar rođen na području današnje Rumunjske. Ne znajući za Ciolkovskog i Goddarda, on je ponovio velik dio njihova teorijskog rada. Nakanio je dobiti doktorat disertacijom temeljenom na konstruiranju raketa, no bio je odbijen. Objavio ju je o vlastitu trošku 1934. kao *Raketa u međuplanetarnom prostoru* i upravo je to napokon zaokupilo pažnju Evropljana općenito, tako da su se počela osnivati raketna društva i eksperimentiranje je krenulo bržim tempom.

RAKETE U RADU

Poslije toga, umijeće raketne tehnike počelo je napredovati osobito u Njemačkoj. Njemačko raketno društvo osnovano je 1927, a jedan od njegovih osnivača bio je njemački inženjer Willy Ley (1906—69) koji je još kao mladić napisao jednu vrlo popularnu knjigu o raketnoj tehnici. Ubrzo su sli-

jedili Walter Robert Dornberger (1895—1980) i Wernher von Braun (1912—77). Oni su počeli ispaljivati rakete, prvi poslije Goddarda.

Kad je Adolf Hitler (1889—1945) postao diktatorom Njemačke 1933. godine, u raketama je gledao potencijalno ratno oružje velike važnosti. To je značilo da se vladin novac slijevao u njemačka raketna istraživanja. Godine 1937. raketna su istraživanja premještena u Peenemünde, osamljeno područje na baltičkoj obali. Willy Ley napustio je Njemačku ubrzo nakon Hitlerova dolaska na vlast, ali von Braun i Dornberger su ostali i nastavili su voditi eksperimente s raketama koji su se sve više i više usredotočavali na napredak u pogledu ratovanja.

Primjerice, razvijen je mlazni avion bez pilota koji je ušao u upotrebu 1944. godine. Bio je to dirigirani projektil, raketa koja je nosila eksplozivnu bojnu glavu. Kad bi bila lansirana, njezin se smjer nije mogao korigirati ništa više no što se to mogao smjer topovske kugle. Nijemci su je nazvali V-1, pri čemu V označava *Vergeltunndswaffen*, što znači »oružje odmazde«, jer su u vrijeme kad se počela upotrebljavati britanski i američki bombarderi nemilosrdno tukli Njemačku.

V-1 bio je dugačak oko 7,75 metara, a raspon krila bio mu je oko 5,50 metara. Nosio je jednu tonu snažnog eksploziva, domet mu je bio oko 240 kilometara, jurio je brzinom od 580 kilometara na sat, tek nešto manje od brzine zvuka.

V-1 nije bio pravi svemirski brod, jer iako je nosio gorivo, nije nosio kisik. Morao je koristiti kisik iz zraka: njegovi motori ne be radili u vakuumu. Između 13. lipnja 1944. i kraja rata, lansirao je više od 8.000 V-1 projektila na Veliku Britaniju, uglavnom na London. Otprilike isti je broj ispaljen na savezničke trupe u Belgiji.

Mnogo značajnija raketa razvijena u Peenemündeu bila je V-2; ona je bila pravi svemirski brod zato što je nosila i gorivo (alkohol) i tekući kisik pa bi njezini motori, da je bilo potrebno, mogli raditi i u vakuumu.

Bila je veća od V-1, dugačka 14 metara i teška oko 13 tona. Nije nosila više eksploziva od V-1 i imala je tek nešto veći domet, no mogla se kretati brzinom većom od brzine zvuka pa je tako bila prva nadzvučna raketa. To je značilo da je avioni i protuavionska artiljerija nisu mogli oboriti, jer oni nisu reagirali dovoljno brzo. A niti je njezin dolazak najavljivao zvuk.

Počevši od 6. rujna 1944, ispaljeno je 4.300 raketa V-2 na Veliku Britaniju i Belgiju. Od njih je 1.230 pogodilo London, ubivši 2.511 i ranivši 5.869 ljudi.

Srećom za civilizirani svijet, ta oružja nisu razvijena dovoljno rano da sačuvaju Njemačku od gubitka rata.

Britanci, Amerikanci i Sovjeti prekasno su shvatili značenje raketa kao ratnog oružja pa do kraja rata nisu mogli nadmašiti njemačko vodstvo. (Jedan od uzroka, barem što se tiče Britanaca i Amerikanaca, bilo je njihovo posvemašnje usredotočenje na razvitak nuklearne bombe, mnogo stravičnijega oružja koje su Nijemci, sa svoje strane, zanemarili u korist raketne tehnike. To dvoje je danas, naravno, povezano, jer raketna oružja koja su uznapredovala daleko ispred V-2 danas nose nuklearne bojne glave.)

Kad su se Nijemci predali, svaki je pobjednik pokupio onoliko njemačkih raketnih stručnjaka koliko je bilo moguće. Dornberger i von Braun požurili su se na zapad da se predaju Amerikancima, smatrajući da će im kod njih biti bolje. K tome, i Amerikanci i Sovjeti zaplijenili su one komponente V-2 koje su se mogle naći u tvornicama raketa. Amerikanci su zaplijenili dovoljno da sastave stotinjak raketa V-2.

U pet godina što su slijedile neposredno nakon njemačke kapitulacije, Amerikanci su ispalili oko sedamdeset raketa V-2 s pokusnog poligona White Sands u New Mexicu. To ih je poučilo mnogo čemu u baratanju velikim raketama. (Sam je Goddard umro oko tri mjeseca poslije kapitulacije Njemačke te nije poživio kako bi vidio punu potvrdu svoga rada.)

Kako je rat završio, rakete V-2 našle su mirnodopsku primjenu te su se upotrebljavale za istraživanje gornje atmosfere. Godine 1949. Sjedinjene su Države ispalile jednu V-2 raketu do visine od 206 kilometara. Te iste godine, upotrebom dvofazne rakete, jedne male na raketi V-2, postignuta je visina od 400 kilometara.

To je značilo da su ljudska bića dopirala do egzosfere gdje je atmosfera bila tako razrijeđena da su se objekti mogli odašiljati u orbitu na dulja vremenska razdoblja.

Rakete V-2 upotrebljavale su se do 1952, ali i Sjedinjene Države i Sovjetski Savez razvijali su veće i bolje rakete, a objekti u orbiti počeli su se primicati granicama mogućega.

Po toj koncepciji čak nije bilo nešto doista novo. Sam je Newton govorio o umjetnome satelitu kao zamišljenu eks-

perimentu gotovo tri stoljeća prije, a Hale je, u svome *Mjesecu od opeke*, prvi o tome pisao u prozi gotovo jedno stoljeće prije. Ciolkovski je pisao o umjetnom satelitu znanstvenički podrobno 1910, a Oberth je učinio to isto, neovisno, 1923. godine.

Dakako, hoće li se da neki objekt u orbiti bude koristan (osim samoga dokazivanja da se orbita može postići), morao bi nositi instrumente, a ono što bi ti instrumenti zabilježili moralo bi biti dostupno znanstvenicima.

U slučaju balona, spuštanje na zemlju bilo je »meko« te je bilo moguće uzeti instrumente i proučiti ih. U slučaju raketa, povratak je bio katastrofalniji, a ako bi se postupno postigla i brzina umicanja, rakete se uopće ne bi vratile.

Da bi istraživanje bilo uspješno, slijedilo je iz toga, bilo bi bolje kad bi instrumenti na letjelici bilježili svoja zapažanja tako da modificiraju radio-val iz letjelice. Modificirani radio-val na taj bi način slao zapažanja prijemnoj stanici na zemlji odmh kako do njih dolazi. To se zove »telemetrija«.

Pokušaji telemetrije postojali su i prije no što je počelo rabljenje radija. Godine 1877. telemetrija se pokušala ostvariti uz pomoć električne struje koja je prolazila žicom što se protezala od balona do prijemne stanice. To, naravno, nije baš praktično, no uspostavilo je princip.

Prvi pokušaj radiovalne telemetrije za instrumente na balonu učinio je 1925. godine ruski znanstvenih Pjotr A. Molčanov. Do vremena eksperimenata s raketama V-2 u White Sandsu, telemetrija je prilično uznapredovala i znanstvenici na zemlji znali su točno što se događa s instrumentima na svim visinama.

Oko 1953, uz snažna raketna pojačala u procesu razvitka, počelo se činiti da bi se neki objekti, čak iako možda posve mali, mogli poslati u orbitu.

U to vrijeme planirala se Međunarodna geofizička godina za razdoblje od 1. srpnja 1957. do 31. prosinca 1958, godina u kojoj će se provesti velika međunarodna akcija na proučavanju svojstava zemaljskoga globusa kao cjeline. U Sjedinjenim Državama držalo se kako bi bilo prikladno poslati satelit u svemir tijekom toga razdoblja. Uostalom, kako bolje proučiti Zemlju kao cjelinu nego iz nekoga objekta koji je u orbiti oko nje?

U to vrijeme Sovjetski je Savez najavio svoj vlastiti satelitski program, no Sjedinjene Države nisu tome pridavale

veliko značenje, jer je postojalo ustaljeno američko shvaćanje ne samo da su Amerikanci tehnološki lideri svijeta (što je bilo doista istina), već i da je ruski narod osobito zaostao u tehnologiji, možda čak i po prirodi (što uopće nije bilo istina).

Sovjeti su bili svjesni toga američkog snobizma i svojski su se trudili da ga razobliče. Osim toga, Sovjeti su bili itekako svjesni pionirskoga djela Ciolkovskog i vrlo su se ponosili njime. Stogodišnjica rođenja Ciolkovskog padala je 17. rujna 1957. i Sovjeti su se trudili da pošalju neki objekt u orbitu što je moguće bliže tome danu.

Sovjeti su radili u tišini, a Amerikanci su u tome surađivali ne poklanjajući im nikakvu pažnju. Kao rezultat, američka javnost, pa čak i američki znanstvenici i vladini službenici bili su potpuno zatečeni kad je Sovjetski Savez, 4. listopada 1957. (šesnaest dana poslije stogodišnjice postavljene kao cilj), postavio jedan objekt u orbitu, lansiravši tako prvi umjetni satelit u povijesti.

Eliptična orbita *Sputnjika I,* kako je bio nazvan, dovodila ga je na visinu od samo 230 kilometara na točki najbližoj Zemljinoj površini (»perigej«) te do čak 940 kilometara na najvišoj točki iznad površine (»apogej«). Bio je težak 84 kilograma.

9

Izlazak u svemir

PRVI SATELITI

U širem smislu nije važno koja je nacija lansirala prvi satelit, ništa više no što je važno koja je nacija prva otkrila američke kontinente. Važno je da su ljudska bića ostvarila širenje čovjekova horizonta. Svako »vodstvo« što ga je postigao ovaj ili onaj narod svojom prednošću, može se na kraju krajeva svladati i izjednačiti. I, na koncu, čitav svijet može imati koristi, ma tko slučajno bio prvi.

Pa ipak, Sjedinjene su Države bile ponižene time što je Sovjetski Savez bio prvi na tome polju i, također, ne tek samo malo zaplašene, jer su mnogi Amerikanci bili toliko naivni te su povjerovali da nekako lansirani satelit znači zaprijetiti dominacijom u svijetu.

To je, međutim, imalo i korisnu stranu. Američki Kongres, koji možda ne bi izglasao nijedan peni samo za povećanje čovjekova znanja, radosno je izglasao milijarde »da se potuku Rusi«. A američka javnost, imajući to kao motiv, nije se protivila, tako da su napredovanja u svemir uslijedila mnogo bržim ritmom nego što bi se možda dogodilo da je Sovjetski Savez bio neaktivan.

Ruska riječ *sputnjik* upotrijebljena za taj satelit brzo je postala najglasovitijom riječi u svijetu i neko su je vrijeme čak i Amerikanci upotrebljavali kao generički izraz za umjetni satelit. U Sjedinjenim Državama često se prevodila kao »suputnik«, a to je bila fraza koja je imala neugodne konotacije u antikomunističkom rječniku. Međutim, prema

originalnom latinskom značenju, »satelit« je osoba koja se stalno vuče za nekim snažnijim i koja je prema tome, doslovno, suputnik. Ukratko, *sputnjik* je jednostavno ruska riječ za »satelit«.

Sputnjik I pokazao je da se to može učiniti. Mjesec dana poslije prvog lansiranja, 3. studenoga 1957, Sovjetski Savez je pokazao da se to može učiniti ponovno. U orbitu je postavljen *Sputnjik II*, veći satelit, težak 510 kilograma. Bio je dovoljno velik da ponese živog psa pa je to bio prvi satelit koji je nosio živo biće. To je pokazalo da dosta velik sisavac može preživjeti ubrzanja potrebna u procesu lansiranja.

U međuvremenu je američki satelitski program dobio veliko ubrzanje pa je 31. siječnja 1958. lansiran prvi američki satelit, *Explorer I*. Činjenica da je težio samo 14 kilograma pokazivala je superiornost sovjetskih raketnih bustera (dodatnih dinama) u to vrijeme.

Pa ipak, malen kakav je bio, *Explorer I* učinio je jedno značajno znanstveno otkriće. Na njemu se nalazio brojač koji je mogao otkrivati visokoenergetske električno nabijene čestice. Otkrio je prilična broj takvih čestica, kao što se moglo i očekivati. Uostalom, površinska proučavanja takvih pojava kao što je polarna svjetlost pokazivahu da takve čestice postoje.

Eliptična orbita *Explorera I* dovodila ga je na jednome kraju u blizinu Zemljine površine, a na drugome ga je kraju uzdizala do 2.500 kilometara uvis. Na većim visinama smanjivao se broj čestica, zapravo je opadao do ništice.

Ista je zapažanja učinio *Explorer 3* koji je lansiran 26. ožujka 1958, dosegavši maksimalnu visinu 3.400 kilometara, kao i sovjetski satelit *Sputnjik 3* lansiran 15. svibnja 1958.

Američki fizičar James Alfred Van Allen (1914—) koji bijaše zadužen za taj dio satelitskog eksperimentiranja, posumnjao je da opadanje broja čestica nije stvarna pojava. Držao je da je istinito upravo obratno; da gustoća visokoenergetskih nabijenih čestica raste s visinom te doseže razinu koja nadilazi mogućnosti brojača tako da oni nisu u stanju funkcionirati. Bilo bi to kao kad čovjekovo oko, zaslijepljeno intenzitetom svjetlosti prevelikim da bi se registriralo, ne bi moglo ništa vidjeti.

Kad je 26. srpnja 1958. lansiran *Explorer 4*, on je nosio specijalne brojače konstruirane za velika opterećenja. Jedan je od njih, primjerice, bio zaštićen tankim slojem olova (kao

tamne naočale za sunce koje štite oči) kojemu je svrha bila da zadrži najveći dio radijacije. To je pokazalo da je teorija »prevelike radijacije« bila točna. *Explorer 4* dosegao je visinu od 2.200 kilometara te zabilježio mnogo veći intenzitet visokoenergetske radijacije nego što su znanstvenici očekivali.

Pokazalo se da je Zemlja okružena pojasovima visokoenergetskog zračenja koji se sastoje od čestica podrijetlom sa Sunca, zarobljenih u silnicama Zemljina magnetskog polja. U početku su oni nazvani »Van Allenovi radijacijski pojasovi«, no kasnije je ime promijenjeno u »magnetosfera«.

Ubrzo nakon lansiranja *Explorera 1,* Sjedinjene su Države lansirale svoj drugi satelit, *Vanguard 1,* 17. ožujka 1958. godine. Težio je samo 1,4 kilograma pa je čak bilo ruganja na račun toga kako su Sjedinjene Države lansirale naranču. No, sama veličina nije mjerilo vrijednosti. Pomno proučavajući njegovu orbitu i zapazivši manje devijacije od idealno zamišljene, američki fizičar John Aloysius O'Keefe (1916—) uspio je otkriti male varijacije gravitacijskog intenziteta iznad različitih dijelova Zemlje. To je pokazalo da sama Zemlja odstupa u vrlo malom opsegu od idealnog spljoštenog sferoida kakvim je trebala biti. Upotreba *Vanguarda 1* i kasnijih satelita omogućila je znanstvenicima da odrede točan oblik Zemlje sve do u metar ili još manje, na način koji bi bio težak ili zapravo nemoguć samo na temelju površinskih mjerenja.

Vanguardu 1 trebao je neki izvor energije kako bi neprekidno mogao davati signale površinskim stanicama na Zemlji, ako se htjelo precizno promatrati njegovu orbitu. Ta je energija imala oblik »solarnih stanica«, tankih slojeva materijala koji je, izložen suncu, stvarao slabu električnu struju, dovoljnu za aktiviranje radio-zrake. Bila je to prva upotreba solarnih stanica u svemiru.

Nova razvojna dostignuća brzo su nailazila. *Sputnjik 3* bio je težak 1.330 kilograma (1,33 tone) te je bio dovoljno velik da postane prvi satelit koji je nosio raznovrsne instrumente, što je omogućilo mnogobrojna zapažanja.

Nije trebalo dugo i da čovječanstvo u cjelini postane svjesno korisnosti nove ekspanzije čovjekova horizonta. Sjedinjene su Države 18. prosinca 1958. lansirale *Score* koji je mogao primati i prenositi signale što su sadržavali ljudski glas.

Score je bio samo početak. Dvanaestoga kolovoza 1960. godine Sjedinjene Države lansirale su *Echo 1* koji se proširio u veliki aluminijski balon što je služio kao relej za signale koji nisu sadržavali samo zvuk, već i slike. Tada su, 10. srpnja 1962. godine Sjedinjene Države lansirale *Telstar 1* koji nije bio samo relej, već i pojačalo.

Telstar 1 bio je prvi pravi »komunikacijski satelit« kakvi su se u budućim godinama umnožili brojem, kapacitetom i svestranošću, da bi danas televizijska pokrivenost bila globalna. Zemlja je danas jedinica i nijedan njezin dio nije udaljen od drugoga više od djelića sekunde, ako se ljudska bića potrude uspostaviti odgovarajuće signalne i prijemne stanice.

Osim toga, s povišene točke svemira ljudska su bića mogla, prvi put, promatrati Zemlju kao da je ona planet poput svakog drugog; vidjeti je izvana, da tako kažemo. Sjedinjene Države su 17. veljače 1959. lansirale *Vanguard 2*, prvi satelit koji je bio u stanju prenositi fotografije sloja oblaka oko Zemlje što ih je mogla primati televizija. *Explorer 6* što su ga Sjedinjene Države lansirale 7. kolovoza 1959. prvi je poslao fotografije Zemlje kao cjeline.

Sjedinjene Države lansirale su 13. travnja 1960. godine *Transit 1B*, prvi satelit opremljen tako da je mogao ponovljeno fotografirati Zemlju i odašiljati slike. Za vrijeme svoga vijeka trajanja snimio je gotovo 23.000 fotografija pa su znanstvenici na Zemlji imali stalan uvid u promjene sloja oblaka i mogli su proučavati atmosfersku cirkulaciju. Bio je to prvi »klimatski satelit«.

Do tada, prognoziranje vremena bilo je silno nepotpuno umijeće, temeljeno na onim malobrojnim izvještajima što su se mogli dobiti s malog dijela Zemljine površine opremljenog za izvještavanje o lokalnim vremenskim uvjetima u pojedinostima. Takvi su podaci nedostajali za sve oceane i za ogromne dijelove kontinenata.

No, od 1960. godine nadalje, Zemlja kao cjelina neprekidno se promatrala te je umješnost prognoziranja vremena znatno uznapredovala. Primjerice, prije 1960. godine nije bilo nikakva načina da se sazna stvaraju li se orkani, gdje su točno locirani ili u kojem točno smjeru kreću, osim prema izvještajima s ponekoga broda zahvaćenog njima. Poslije 1960, nastanak, razvitak i smjer svih takvih oluja svugdje su bili poznati i, kao rezultat toga, spašeni su bezbrojni životi i spriječena ogromna materijalna šteta. (To je jedna od brojnih

praktičnih koristi što ih je čovječanstvu donio svemirski program, iako su mnogi skloni ismijavati taj program kao puko rasipanje novca.)

Prvoga travnja 1960. Sjedinjene su Države lansirale *Tiros 1*, satelit kojega je svrha bila da služi kao pomoć pri navigaciji. Slijedili su i drugi te vrste. Signali koje oni emitiraju mogu se primati te, prema poznatoj lokaciji satelita u svako određeno vrijeme, brod može odrediti svoju lokaciju na površini Zemlje bez potrebe da ugleda ijednu zvijezdu, dakle bez potrebe da ovisi o vedrome nebu. Propisno opremljen brod znat će svoju lokaciju, u svakom trenutku, precizno do nekoliko metara. To također omogućuje da se izradi zemljopisna karta Zemlje točnošću koja je prije bila nemoguća.

U orbitu su također poslani brojni sateliti da bi služili vojnim svrhama, da otkrivaju nuklearne eksplozije ili masovna gibanja. Iako se čini da je to pripremanje za ratovanje, moglo bi se shvatiti i kao služenje stvari mira. Zbog špijunskih satelita, i Sovjetskom Savezu i Sjedinjenim Državama teže je pripremiti preventivni nuklearni napad a da druga strana ne bude svjesna što se događa. To smanjuje vjerojatnost takva napada.

Na žalost, sve je više rasprava o stavljanju sofisticiranog oružja u svemir. To bi moglo jednoj ili drugoj strani pružiti kratkotrajnu vojnu premoć, no samo bi povećalo vjerojatnost (ionako preveliku da bismo bili mirni) samoubojstva čitave civilizacije jednoga dana.

LJUDI U ORBITI

Iako potpuno neživi sateliti mogu izvesti ogromne majstorije, noseći kompleksnu minijaturiziranu opremu za promatranje i telemetriju, takvo jedno širenje opservacijskoga hohorizonta neminovno rađa pitanje mogu li slijediti i ljudi.

Sputnjik 2 je, noseći psa, pokazao da živa bića mogu biti upućena u orbitu bez škodljivosti po njih. Nije, međutim, postojao nikakav način da se pas vrati na Zemlju pa je, pravodobno, namjerno otrovan kako se ne bi mučio.

Sovjeti su tek 19. kolovoza 1960. u tom smislu bili uspješniji. Lansirali su *Sputnjik 5*, težak 4,6 tona, najmasivniji satelit dotada upućen u svemir. Nosio je dva psa i šest miševa koji su svi uspješno vraćeni na Zemlju.

Poslije toga bilo je samo pitanje vremena kad će ljudska bića krenuti u orbitu i sigurno se vratiti natrag. Sovjetski je Savez 12. travnja 1961. lansirao *Vostok 1* težak 4,7 tona u kome je bilo jedno ljudsko biće, Jurij Aleksejevič Gagarin (1934—68). On je postao prva osoba koja je ikad putovala svemirom. (Amerikanci bi ga bili nazvali »astronautom«, no Sovjeti su umjesto toga upotrijebili izraz »kozmonaut«.)

Gagarin je jedanput obišao Zemlju i uspješno je vraćen natrag. To je doista označilo golemu prekretnicu. Prvi ljudi koji su obišli Zemlju bijahu onih osamnaest članova Magellanove posade što su preživjeli da bi završili putovanje 1522. godine, 1.084 dana pošto su se otputili na more. Sada, četiri i trećinu stoljeća kasnije, jedno je ljudsko biće obišlo Zemlju za 108 minuta.

Za vrijeme koje je bilo potrebno da tih osamnaest izgladnjelih preživjelih oplovi jedanput Zemlju, Gagarin bi, pod pretpostavkom da je mogao biti održan na životu i u orbiti, mogao obići Zemlju 14.453 puta.

Štoviše, Gagarinov podvig dovršio je tu fazu čovjekova nastojanja. Obilaženje Zemlje u satelitu, niskom putanjom, najbrži je način na koji se prihvatljivo može kretati oko planeta te nema mnogo smisla nastojati poboljšati Gagarinov rezultat.

Sovjetski je Savez dokazao da Gagarinov let nije bio samo slučajnost kad je, 6. kolovoza 1961, lansirao *Vostok 2* s Germanom Titovim (1935—). On je ostao u svemiru ništa manje već sedamnaest orbita u razdoblju od 25 sati i 11 minuta, nešto više od jednoga čitavog dana. Zatim je i on uspješno vraćen i to mu nije nimalo naškodilo.

Posve očito, ljudska su se bića mogla lansirati, dovesti u orbitu, zadržati tamo prilično vremena i zatim bez opasnosti vratiti.

Sjedinjene Države, nakon što su poslale dva astronauta na suborbitalne letove i sigurno ih vratila, odvele su prvog Amerikanca u orbitu 20. veljače 1962, kad je lansiran *Friendship 7.** Astronaut u brodu bio je John H. Glenn ml. (1921—). On je ispunio tri orbite, ostavši u svemiru 4 sata i 55 minuta. To je ponovljeno 24. svibnja 1962, kad je lansirana

* Prvi svemirski brodovi koji su nosili astronaute u američkom »Programu Mercury« svi su imali broj 7, jer je prvih američkih astronauta bilo ukupno sedam.

Aurora 7 koja je s M. Scottom Carpenterom (1925—) obišla tri orbite.

Obje su zemlje nastavile s orbitalnim letovima. Sovjeti su 16. lipnja 1963. lansirali *Vostok 6* s Valentinom V. Terješkovom (1937—), prvom ženom koja je bila u svemiru. Ostala je u svemiru četrdeset osam orbita, što je trajalo gotovo tri dana.

Astronauti u orbiti oko Zemlje nalaze se u slobodnom padu i doživljavaju, u biti, stanje potpuno bez gravitacije. To je nešto što nije potpuno strano zemaljskome životu. Na mala stvorenja, veličine najmanjih sisavaca ili još manja, gravitacija ima tako malo djelovanje da se gotovo može zanemariti. Kod bića u moru, sposobnost plutanja koja potječe od vode uvelike poništava mnoga djelovanja gravitacije.

Ljudska su bića, međutim, kopnene životinje i dovoljno su velika tako da je gravitacija vrlo prisutna činjenica. Mi moramo izbjegavati padove, ne samo s visine, već i preko vlastitih nogu kad hodamo. Još više od toga, gravitacija utječe na našu fiziologiju. Napetost naših mišića svakako je pod utjecajem potrebe za mnoge naše mišiće da neprekidno rade kako bi nas održali u ravnoteži. Rad mišića, s druge strane, utječe na formiranje kostiju. Cirkulacija krvi je tako uređena da uzima u obzir gravitaciju kad normalno stojimo, tako da nam postaje prilično neugodno ako dulje vrijeme stojimo na glavi.

Nije bilo nikakva načina da se unaprijed kaže kako bi produženo razdoblje nulte gravitacije moglo utjecati na fiziologiju i biokemiju krvi.

Prvi su orbitalni letovi nedvojbeno pokazali da nepostojanje gravitacije kroz razdoblje od nekoliko sati, ili čak nekoliko dana, čovjekovo tijelo može uspješno podnijeti, no ako bi ljudska bića ikad prodirala u svemir drukčije, a ne samo kao u nekoj vrsti akrobatske cirkuske predstave, morat ćemo znati djelovanje dužeg izlaganja stanju bez gravitacije. Što dulje ljudska bića mogu preživjeti bez gravitacije, to će biti vjerojatnije da će jednoga dana djelovanje u svemiru postati stvarnost.

Neko su vrijeme svemirski letovi bili testovi izdržljivosti iz tog razloga. Valerij F. Bikovski (1934—) je, 14. lipnja 1963, pilotirajući *Vostokom 5*, obišao Zemlju u orbiti osamdeset i jedan put, ostavši u svemiru neprekidno bez gravitacije gotovo točno pet dana.

Taj je rekord nadmašen kad su Sjedinjene Države 21. kolovoza 1965. godine lansirale *Gemini 5* koji je okružio Zemlju 128 puta i ostao u svemiru gotovo osam dana. I taj je rekord oboren, pa za njim i drugi, a u vrijeme pisanja ove knjige rekord su držala tri sovjetska kozmonauta koja su ostala u svemiru otprilike točno šest mjeseci.

Pri tome su doista nastajale fiziološke promjene, od kojih je najviše zabrinjavao postupni gubitak kalcija iz kostiju. Te promjene, međutim, nisu spriječile ljude u svemiru da djelotvorno rade. Isto se tako nisu pokazale nepopravljivima, jer se nije činilo da bi astronauti ma u kojem smislu bili onesposobljeni nakon povratka ili nesposobni da žive normalnim životom.

Valentina Terješkova, prva žena-kozmonaut, udala se za kolegu kozmonauti Andrijana G. Nikolajeva (1929—) koji je lansiran u svemir u *Vostoku 3* 11. kolovoza 1962. On je proveo u svemiru četiri, a ona tri dana, no imali su savršeno normalno dijete.

Dakako, mnoge se normalne čovjekove situacije nisu događale u svemiru. Primjerice, nijedna žena nije imala seksualni odnos, nije bila oplođena, nije prošla trudnoću i nije rodila dijete, sve pri nultoj gravitaciji. No, tako dugo dok su ljudska bića ograničena na kruženje oko Zemlje u bliskom dijelu svemira, tako dugo nije presudno znati može li se čitav raspon čovjekova iskustva i doživljavanja ostvariti uz nepostojanje gravitacije. Možemo zamisliti da će ljudi živjeti i raditi u svemiru u smjenama, uvijek se vraćajući na Zemlju kao na istinsku postojbinu.

To bi, naravno, bio najjednostavniji od mogućih scenarija, no svakako je postignuće to što su svemirska istraživanja pokazala da je moguć barem najjednostavniji scenarij. Da se bilo pokazalo kako nepostojanje gravitacije vrlo brzo dovodi do smrti, ili čak do brzog onesposobljavanja čovjeka, širenje čovjekova horizonta u svemir postalo bi nezamislivo teže. Zapravo, možda bi se morala odbaciti svaka pomisao o takvu širenju.

Ako se htjelo da istraživanja svemira budu praktična, jasno je da su svemirski brodovi morali postati razložno prostranima. Za prvu godinu-dvije programa ljudi-u-svemiru, svemirski su brodovi jedva imali prostora za jednu osobu.

Prvi svemirski brod koji je ponio više od jedne osobe lansiran je 12. listopada 1964. godine. Bio je to sovjetski

Voshod 1, usavršena verzija *Vostoka* i nešto malo teži od kasnijih Vostoka. Posadu su sačinjavala tri čovjeka.

Prvi američki svemirski brod s više od jedne osobe lansiran je 23. ožujka 1965. Bio je to *Gemini 3*, a u njemu su bili Virgil I. Grissom (1926—67) i John W. Young (1930—). Prvi američki svemirski brod sa tri člana posade lansiran je 11. listopada 1968. godine.

Do trenutka pisanja knjige nije lansiran nijedan svemirski brod s više od tri čovjeka.

Svemirski brodovi koji su slijedili imali su bolju sposobnost upravljanja. Bili su više od projektila u slobodnom padu. Oni su mogli upotrijebiti mala raketna paljenja u orbiti da bi promijenili položaj, uzdigli se ili spustili, išli naprijed ili zaostajali. Jedan se svemirski brod mogao sastati s drugim i zaustaviti se, tako da je posada iz jednoga mogla ući u drugi brod.

Sovjetski Savez je 18. ožujka 1965. godine lansirao *Voshod 2* sa dva kozmonauta. Jedan je od njih bio Aleksej A. Leonov (1934—). Brod je obišao oko Zemlje sedamnaest puta, a u toku druge orbite Leonov ga je napustio kroz jednu nepropusnu komoru. Imao je na sebi svemirsko odijelo i bio je čvrsto privezan za brod. Bila je to prva »zračna šetnja«, prvi je put jedno ljudsko biće bilo u svemiru bez ikakve veće zaštite osim svemirskog odijela. Leonov je ostao u svemiru desetak minuta, manevrirajući u slobodnu padu i snimajući filmskom kamerom.

Sjedinjene Države lansirale su 3. lipnja 1965. godine *Gemini 4* sa Jamesom N. McDivittom (1929—) i Edwardom H. Whiteom (1930—67). Tijekom treće i posljednje orbite, White je napustio brod i ostao u svemiru, u odijelu i privezan, dvadeset minuta. U svemiru je mogao manevrirati uz pomoć male raketne jedinice te je bio prva osoba koja je to ikad učinila.

Značenje tih svemirskih šetnji bilo je u tome što su one pokazale kako je posve moguće da se ljudska bića upuste u popravke, konstrukcijske radove i druge korisne poslove u svemiru, te da to čine izvan broda, sa zaštitom ne većom od svemirskoga odijela.

Do početka 1970-ih godina, Francuska, Japan, NR Kina i Velika Britanija smjestile su satelite u orbitu, no njihova su svemirska postignuća ostala daleko iza uspjeha Sjedinjenih Država i Sovjetskog Saveza.

Svemirska istraživanja nisu prošla bez gubitaka života. U lipnju 1971. godine tri su sovjetska kozmonauta u *Sojuzu 11* završavala do tada potpuno uspješan let kad je, zbog manjega kvara na brtvilu vrata, dok su ponovno ulazili u Zemljinu atmosferu, izašla atmosfera koja je bila unutar satelita. Kad je satelit vraćen na Zemlju, tri su kozmonauta bila mrtva.

Kod Amerikanaca nije bilo smrtnih slučajeva za vrijeme leta, ali 27. siječnja 1967, za vrijeme pokusnog lansiranja satelita na tlu, u kapsuli je izbila vatra. U atmosferi čistoga kisika gotovo se smjesta tako razbuktala da se nije mogla svladati pa su tri američka astronauta poginula. Umrli su bili Virgil Grissom koji je, dvije godine prije, bio kapetan *Geminija 3*, prvoga američkog satelita što je ponio više od jedne osobe; Edward H. White, prvi Amerikanac koji je, dvije godine prije, u *Geminiju 4*, bio u svemirskoj šetnji; i Roger B. Chaffee (1935—67) koji još nije ni imao prilike stići u svemir.

LUNARNE SONDE

No, zar će čovjekov horizont biti ograničen na orbite oko Zemlje u gornjoj atmosferi?

Nipošto. Gotovo od početka, ulagali su se napori na izradi raketa koje bi postizale ne samo orbitalnu brzinu od 8 kilometara u sekundi, već i brzinu umicanja od 11,25 kilometara u sekundi.

Godine 1958. Sjedinjene su Države poslale tri satelita u svemir, pokušavajući svakim od njih nadmašiti brzinu umicanja. Nijedan nije ispunio očekivanja.

Sovjetski Savez je 2. siječnja 1959. uspio premašiti brzinu umicanja *Lunom 1.* Bio je to prvi satelit koji nije ušao u neku orbitu oko Zemlje. On se beskonačno udaljavao, a radijska veza s njim održavana je 597.000 kilometara, što je jedna i pol udaljenost do Mjeseca.

Taj satelit, međutim, nije nadmašio brzinu umicanja od dalekoga Sunca tako da nije potpuno izašao iz Sunčeva sustava. Ušao je u orbitu oko Sunca kao prvi »umjetni planet«.

Rakete koje su lansirane i koje ne ulaze u orbitu oko Zemlje očito nisu sateliti. One se zovu »sonde«. *Luna 1* bila

je usmjerena prema Mjesecu pa je to stoga bila »lunarna sonda«. No ona nije bila usmjerena savršeno precizno pa je prošla pokraj Mjeseca na udaljenosti od 6.000 kilometara od njegove površine, a to čini samo 1,75 dijelova Mjesečeva promjera.

Sjedinjene su Države lansirale *Pioneer 4*, prvu raketu koja je nadmašila brzinu umicanja, u ožujku 1959. Ona je prošla pokraj Mjeseca na udaljenosti od 60.000 kilometara.

Sovjetski Savez uspio je popraviti svoje usmjeravanje 12. rujna 1959, kad je u smjeru Mjeseca lansirana *Luna 2*. Ona se zabila točno u naš prirodni satelit — ljudska su bića konačno (na određeni način) torpedirala Mjesec. Prvi put u povijesti, jedan predmet što ga je izradio čovjek postojao je (iako nedvojbeno teško oštećen) na površini jednoga svijeta koji nije bio Zemlja.

Time što je promašen Mjesec nije se mnogo postiglo, a time što je on pogođen »sudarom« postiglo se još i manje, osim čiste demonstracije točnosti usmjeravanja. Sljedeći je korak, međutim, ostvario više.

Mjesec obiđe Zemlju, u odnosu prema zvijezdama, za 27 i 1/3 dana. On se također okrene oko svoje osi za 27 i 1/3 dana. To nije samo koincidencija. Mjesecu to nameće djelovanje Zemljine plime i oseke, a posljedica je toga da Mjesec prema nama uvijek okreće samo jednu svoju stranu.

Mjesec se giba oko Zemlje po elipsi, a ne po savršenoj kružnici, pa zato njegova orbitalna brzina nije konstantna. Mjesečeva udaljenost od Zemlje ponešto se mijenja dok se kreće svojom eliptičnom orbitom, i dok je bliže Zemlji kreće se nešto brže nego dok je udaljeniji.

Rotacijska brzina, međutim, ostaje savršeno konstantna. To znači da rotacija prestiže orbitalno gibanje jednu polovicu orbite, a zatim zaostaje u drugoj polovici. Stoga se čini kao da se Mjesec malo klati naprijed i natrag, poput poluga kakve staromodne vage. To se gibanje zove »libracija«, prema latinskoj riječi za »vagu«.

Kao rezultat libracije, sa Zemlje možemo vidjeti gotovo 60 posto Mjesečeve površine. (Jedan njezin dio uvijek na rubu pa stoga vrlo iskrivljen, kao u perspektivi). S druge strane, malo više od 40 posto zauvijek je skriveno, i bilo je tako, vjerojatno, milijarde godina, svakako mnogo duže no što je postojalo ma koje ljudsko ili poluljudsko oko koje je promatralo Mjesec.

Neka lunarna sonda može se lansirati brzinom tako blizom brzini umicanja da je, u vrijeme kad stigne u blizinu Mjeseca, snaga Zemljine gravitacije uspori do puzanja. Sonda bi tada mogla doći pod utjecaj lunarne gravitacije, toliko da uđe u orbitu oko Mjeseca. Mjesec bi je tada »zarobio«. (To bi se moglo dogoditi mnogo lakše kad bi sonda bila osposobljena da ispali mali raketni udarni val točno u pravom smjeru kako bi to promijenilo njezin smjer i brzinu na način da zarobljavanje postane vjerojatnijim.)

U krajnjem slučaju, ako se orbitalne korekcije ne bi mogle izvesti, sonda bi jedanput obišla Mjesec, a zatim bi sunula uvis na još jednu etapu svoga dugoga putovanja. Čak i to jedno jedino kruženje odvelo bi je oko one udaljene strane Mjeseca, pa ako bi mogla napraviti fotografije koje bi se telemetrijom prenijele na Zemlju, čovjekovo bi oko vidjelo, *po prvi put*, objekte udaljene manje od 400.000 kilometara koje nikad prije nije vidjelo, iako *bijaše* vidjelo objekte deset milijuna milijardi udaljenije.

Sovjetski je Savez uspio to učiniti *Lunom 3*, lansiranom 4. listopada 1959. godine. Na drugu obljetnicu lansiranja prvoga satelita, ostvaren je već takav napredak da je jedna lunarna sonda obišla Mjesec i poslala prve fotografije, uopće, njegove udaljenije strane.

Kakvoća fotografija bila je loša i one su bile malobrojne, no dostajale su da raspršе stanovite romantične ideje koje su postojale u vezi s tom udaljenom stranom. Uvijek je bilo moguće sanjariti o tome kako je, iz ovog ili onog razloga, skrivena strana manje odbojna od strane koju vidimo, da ima malo atmosfere i vode i, možda, života.

Ali ne! Iz tih je fotografija bilo jasno da je površina udaljene strane Mjeseca jednako pusta kao i površina vidljive strane. Američke fotografije udaljene strane, kad stigoše, potvrdile su to.

Sjedinjene Države lansirale su 28. srpnja 1964. godine *Ranger 7* koji je pogodio Mjesec, kao što je učinila *Luna 2* gotovo pet godina prije. No sad je dodano jedno novo usavršenje. Tijekom posljednjih trinaest minuta prije sraza snimljene su fotografije i telemetrijom poslane na Zemlju. Snimljeno je ukupno 4.308 fotografija na sve manjim i manjim udaljenostima do uspostavljanja kontakta, kad je prestala svaka transmisija. Prvi je put Mjesec fotografiran iz velikih blizina, s pojedinostima koje su daleko nadmašivale sve što

se moglo zamisliti kad je riječ o teleskopu smještenom na Zemlji (iako je dio Mjeseca tako fotografiran bio doista vrlo malen).

Fotografije su pokazale Mjesec posut i vrlo malim i vrlo velikim kraterima. Neki su bili široki samo jedan metar i duboki 30 centimetara.

Sjedinjene su Države to ponovile *Rangerom 8* i *Rangerom 9* 1965. godine i obje su sonde zajedno poslale 13.000 fotografija dvaju drugih mjesta na Mjesecu.

Tijekom 1965. godine, one sonde koje su se spustile na Mjesec učinile su to »srazom« — spuštanjem koje je posljedovalo uništenjem objekta što je tamo našao pokoj. No bilo je potrebno »meko spuštanje«, takvo nakon kojega bi sonda i dalje funkcionirala na Mjesečevoj površini.

Kad bi Mjesec imao atmosferu, taj bi zadatak bio relativno jednostavan, jer bi mogao uporijebiti padobran koji bi pomogao usporavanje padajuće sonde. Bez atmosfere, usporavanje bi se moralo izvesti isključivo raketnim udarnim valovima koji bi se ispaljivali u smjeru Mjesečeve površine, gurajući tako sondu od Mjeseca i usporavajući je. To bi zahtijevalo najistančanije postupke.

Sovjetski Savez ispunio je taj zadatak 3. veljače 1966, kad se njegova sonda *Luna 9* meko spustila na Mjesec. Nešto više od šest godina poslije prvog rušenja na Mjesec, jedan predmet što ga je izradio čovjek počivao je na Mjesečevoj površini toliko neoštećen da su njegovi instrumenti mogli raditi. Na Zemlji su primljene prve fotografije koje su ikad snimljene na površini Mjeseca.

Luna 9 spustila se u zapadni dio Oceanusa Procellaruma, područje Mjeseca koje je bilo razmjerno bez kratera. Ime toga područja na latinskom znači »Ocean oluja« — indikacija maštovitih poimanja prvih astronoma, prije no što se posve shvatilo da na Mjesecu nema ni vode ni zraka. Slike koje su stizale na Zemlju tri dana prije nego što su instrumenti otkazali, nisu pokazivale ni ocean niti oluje (naravno), već samo kamenito područje tihe samotnosti.

Sjedinjene Države lansirale su *Surveyor 1* 30. svibnja 1966. i on je ponovio sovjetski pothvat. I on se meko spustio na Mjesec na Oceanus Procellarum te slao fotografije nešto bolje kakvoće od onih sa sovjetske sonde.

Kasniji američki sateliti otišli su dalje. *Surveyor 3*, lansiran 17. travnja 1967, nije se samo meko spustio i odaslao

više od 6.300 fotografija lunarne površine, već je primijenio ručicu za uzimanje uzoraka uronivši je u lunarno tlo, automatski odgovarajući na signale sa Zemlje.

To je bilo značajno, jer je u to vrijeme bilo nekih sugestija o tome da je Mjesec prekriven debelim slojem rahle prašine nastale fragmentacijom površine zbog meteoritskog bombardiranja u toku vijekova, te da bi svaka letjelica koja bi se spustila na Mjesec utonula u taj sloj i nestala, otprilike kao da je to suhi živi pijesak. Protiv toga je govorila već i sama činjenica da su sonde koje su se meko spustile ostale na površini, a iskopavanja uzimača uzoraka jasno su pokazala da lunarno tlo posjeduje isti red konzistencije kao i zemaljsko tlo.

Surveyor 5 koji se spustio na Mjesec na Mare Tranquillitatis (»Mirno more«, što je točan opis) nosio je čak malu napravu za analiziranje uzoraka lunarnog tla. Ukupno su sonde *Surveyor* poslale više od 50.000 fotografija te je lunarna površina, viđena s razine tla, postala za ljudska bića poznati prizor.

Sovjetski Savez je 31. ožujka 1966. godine lansirao *Lunu 10* koja je ušla u orbitu oko Mjeseca. Sjedinjene su Države to ponovile lansiravši *Lunar Orbiter 1* 10. kolovoza 1966. Te i druge sonde koje su kružile oko Mjeseca slale su fotografije svih njegovih dijelova do sitnih pojedinosti, a rezultata je da imamo karte čitavog Mjeseca, jednako pouzdane i gotovo jednako detaljne kao karte Zemlje.

Ono što je proizašlo iz tih mapa potvrdilo je sumnje koje su se pojavile već nakon prvih slika udaljene strane Mjeseca. Dok strana okrenuta prema Zemlji ima brojna »mora«, velika, uglavnom okrugla područja razmjerno bez kratera, kojih se dno vjerojatno uzdiglo razlijevanjem lave u mračnim ranim razdobljima Mjesečeve povijesti, na suprotnoj strani gotovo da nema takvih stvari.

Mjesečeva kora je debela oko 60 kilometara na bližoj strani, a oko 100 kilometara na suprotnoj, kako približno možemo zaključiti prema onome što smo saznali o Mjesecu uz pomoć sondi. Kao posljedica toga, udar velikoga meteora u bližu stranu mogao bi urušiti koru te bi iz donjih rastaljenih slojeva moglo izbiti užareno stijenje, dok bi sličan meteorski udar na udaljenoj strani zadržala deblja i čvršća kora.

No zašto bi kora morala biti tako asimetrična? Čini se normalnim pretpostaviti da Zemlja ima s tim nekakve veze, no još nije bilo nekih uvjerljivih nagovještaja o tome što bi to nešto moglo biti.

Jedno otkriće koje nije zapanjilo bilo je da Mjesec nema magnetsko polje. Sadašnje teorije o postojanju magnetskih polja oko astronomskih tijela iznose da postoje dva zahtjeva. Ponajprije, u središtu tijela mora postojati tekuća jezgra sposobna da provodi električnu struju. Drugo, samo tijelo mora dovoljno brzo rotirati da stvara vrtloge u tekućini jezgre. Cirkularno kretanje električnog naboja u tom bi slučaju stvaralo magnetsko polje.

Zemlja ima tekuću jezgru bogatu željezom, i brzo rotira, pa stoga nije iznenađujuće što ima magnetsko polje.

Mjesec, s druge strane, ima gustoću koja iznosi samo tri petine gustoće Zemlje. On je sigurno mnogo manje bogat, sve u svemu, razmjerno gustim tvarima kakvo je željezo. Nadalje, kako je Mjesečeva masa znatno manja od Zemljine, on je u središtu sigurno manje vruć. (Središnja toplina nastaje gibanjem manjih tijela koja se sudaraju stvarajući tako veća tijela, a Mjesečeva razmjerno mala gravitacija može stvarati samo male brzine koje se pretvaraju u razmjerno malo topline.)

Zbog kombinacije razmjerno male težine i hladnoće, može se smatrati izvjesnim da Mjesec nema tekuće željezne jezgre te da je vjerojatno skroz naskroz sastavljen od krutoga stijenja. Čak i kad bi postojala tekuća željezna jezgra sposobna provoditi elektricitet, Mjesečeva je rotacija daleko prespora da bi mogla stvarati znatnije vrtloge u toj jezgri. Sve u svemu, prema tome, ako su naše teorije ispravne, Mjesec ne bi trebao imati magnetsko polje — i on ga nema.

DOPIRANJE DO MJESECA

Ako su sonde bez posade prolazile blizu Mjeseca, kružile oko njega i spustile se na nj — mogu li slijediti i ljudska bića?

Sjedinjene su Države vrlo rano to proglasile svojim ciljem. Peklo ih je to što ih je Sovjetski Savez neprekidno pretjecao i zasjenjivao u takozvanoj »svemirskoj utrci«. K tome, Sjedinjene su Države pretrpjele poniženje 17. travnja 1961,

kad je propala namjeravana invazija na Kubu što su je organiziralej protudržavne kubanske snage koje su podržavali Amerikanci.

Da bi vratio američki prestiž, predsjednik John F. Kennedy (1917—1963) objavio je u svibnju 1961. da će Sjedinjene Države spustiti ljudsko biće na Mesec prije konca desetljeća. S tom je nakanom Nacionalna aeronautička i svemirska uprava (NASA) započela »Program Apollo«.

»Program Gemini« koji mu je prethodio, s naglaskom na manevriranju u svemiru, susretima, zaustavljanjima i svemirskim šetnjama, trebao je razviti one sposobnosti koje će biti potrebne za spuštanje na Mjesec. Program Gemini završen je potkraj 1966. godine, a prvi Apollo-let zakazan je za veljaču 1967.

Let je odgodila tragična smrt triju astronauta — Grissoma, Whitea i Chaffeeja — koji su radili na svemirskoj letjelici Apollo na tlu. Letjelicu je trebalo rekonstruirati. Nakon toga izvedeno je nekoliko uspješnih lansiranja Apolla bez posade.

Konačno, prva letjelica Apollo s posadom (u njoj su bila tri astronauta) lansirana je 11. listopada 1968. Bio je to *Apollo 7* pod zapovjedništvom Waltera M. Schirre (1923—). Bio je to prvi svemirski brod Sjedinjenih Država sa tri člana posade, a Schirri je to bio treći odlazak u svemir. Tijekom 163 orbite ispitani su sistemi vođenja i kontrolni sistemi konstrukcije Apolla, kao i mogućnost raketnih motora da se ponovno uključe na komandu. Preostalo je tek nešto više od godine dana, ako se htjelo ispuniti obećanje predsjednika Kennedyja.

Dva mjeseca kasnije, 21. prosinca 1968, lansiran je *Apollo 8* pod zapovjedništvom Franka Bormana (1928—). Borman je u to vrijeme držao rekord izdržljivosti u svemiru, jer su u *Geminiju 7*, tri godine prije, on i James A. Lovell (1928 —) ostali u orbiti 220 okretaja, ili otprilike dva tjedna. Na tom putovanju ostvaren je još jedan pothvat — *Gemini 6*, lansiran jedanaest dana poslije *Geminija 7*, uspješno se sastao i zaustavio s *Geminijem 7*, a taj je manevar nužan pri aluniranju.

Sad je *Apollo 8* nakanio izvesti manevar bez presedana. Tri su astronauta odvezla letjelicu do Mjeseca i smjestila je u orbitu tog tijela. Prvi puta u povijesti, ljudska bića bila su dovoljno blizu Mjesecu da ga bez hitnje proučavaju golim

okom, videći detalje kakve ne bi mogao pokazati nikakav teleskop smješten na Zemljinoj površini. *Apollo 8* ostao je u Mjesečevoj blizini deset orbita ili nešto više od šest dana. Zatim se sigurno vratio na Zemlju, proboravivši u svemiru ukupno malo više od deset dana. Bio je to najspektakularniji svemirski pothvat do tog vremena.

Apollo 7 i *Apollo 8* ostali su čitavi tijekom cijelog boravka u svemiru, iako se svaki zapravo sastojao od dva svemirska broda. Namjera je bila da se, kasnije, nakon ulaska u lunarnu orbitu, jedan brod, »lunarni modul« sa dva člana posade, odvoji od drugoga, tzv. »komandnog modula«. Lunarni modul tada bi se spustio na površinu Mjeseca, dok bi komandni modul ostao u orbiti. Kasnije bi lunarni modul napustio Mjesečevu površinu i ponovno se spojio s komandnim modulom.

Astronauti u lunarnom modulu tada bi ušli u komandni modul. Lunarni modul bi se odbacio, a komandni bi se modul, sa sva tri astronauta, vratio na Zemlju.

Trećeg ožujka 1969. lansiran je *Apollo 9* pod zapovjedništvom McDivitta i lunarni je modul prvi put ispitan u svemiru, no *Apollo 9* je, iz opreza, cijelo vrijeme ostao u Zemljinoj orbiti. U svemiru je proveo 151 orbitu ili gotovo deset dana.

Sljedeći je korak učinjen 18. svibnja 1969, kad je lansiran *Apollo 10* pod zapovjedništvom Thomasa P. Stafforda (1930 —) koji je već dva puta prije odlazio u svemir i koji je bio sa Schirrom prilikom prvog uspješnog zaustavljanja.

Apollo 10 ponovio je pothvat *Apolla 8*, stigavši u lunarnu orbitu 21. svibnja i ostavši tamo trideset jednu orbitu. Taj se put lunarni modul odvojio i ponio Stafforda, zajedno s Eugeneom A. Cernanom (1934—), prema površini Mjeseca. (Cernan je bio sa Staffordom na letu *Geminija 9* tri godine prije toga i tom je prilikom Cernan manevrirao u svemirskoj šetnji više od dva sata.)

Stafford i Cernan obrušili su se sve do 15 kilometara iznad Mjesečeve površine, a zatim su se vratili do komandnog modula u kojem je čekao John W. Young (1930—) koji je bio na dva leta iz programma Gemini. Svemirski brod sigurno se vratio na Zemlju poslije osam dana provedenih u svemiru.

Sad je već bilo učinjeno sve, osim stvarnog spuštanja.

Šesnaestog srpnja 1969. lansiran je *Apollo 11* sa tri astronauta. Bili su to Neil Armstrong, Edwin E. Aldrin i Michael Collins. Sva su trojica rođena 1930. godine.

Armstrong je bio kapetan *Geminija 8* koji je lansiran 16. ožujka 1966. Zaustavio se i sastao s jednom raketom bez posade, no zbog nekog se kvara taj manevar nije mogao završiti kako se planiralo.

Aldrin je bio u *Geminiju 12*, zadnjem iz te serije, lansiranom 11. studenoga 1966. Tijekom toga četvorodnevnog leta Aldrin je pošao u svemirsku šetnju koja je trajala pet i pol sati.

Collins je bio u *Geminiju 10* lansiranom 18. srpnja 1966. godine koji se sastao s jednom raketom bez posade uspješnije od *Geminija 8*, ali ipak ne posve savršeno.

Sad su sva trojica bila na svojoj drugoj misiji u svemiru. Dvadesetoga srpnja 1969, dok se *Apollo 11* kretao mirno oko Mjeseca putanjom koja ga je održavala na 100 do 120 kilometara iznad lunarne površine, lunarni se modul, s Armstrongom i Aldrinom, počeo spuštati prema površini blizu jugozapadnog ruba područja Mare Tranquillitatis.

U četiri sata i 18 minuta poslije podne po istočnom američkom vremenu, 20. srpnja 1969. godine, lunarni modul kojim je Armstrong ručno upravljao, sigurno se spustio na Mjesec. Prvi puta u povijesti, živa bića sa Zemlje bila su na površini jednog drugog svijeta. Spuštanje na Mjesec obavljeno je u desetljeću 1960-ih godina, kao što je predskazao predsjednik Kennedy, čak su do roka preostala još 164 dana. Sam Kennedy, međutim, nije bio živ da vidi taj trijumf. Umoren je 22. studenoga 1963. godine. Sad je u Bijeloj kući sjedio Richard M. Nixon (1913—), čovjek kojega je Kennedy pobijedio u predsjedničkim izborima.

Armstrong je izašao iz lunarnog modula i bio je prvo ljudsko biće koje je stvarno stupilo nogom na Mjesec, izrekavši dok je to čino: »To je mali korak za jednog čovjeka, ali divovski skok za čovječanstvo.« Aldrin ga je slijedio. Cijeli su postupak promatrale stotine milijuna ljudskih bića koja su bez daha bila prikovana uz televizore širom Zemlje.

Lunarno tlo bez problema je izdržalo i njih i modul. Na Mjesecu su proveli ukupno 21 sat i 36 minuta. Za to su vrijeme fotografirali, skupljali uzorke stijenja, stavili američku zastavu i postavili eksperimente koji će telemetrijom slati rezultate na Zemlju nakon što oni odu.

Potom su podigli lunarni modul s površine Mjeseca i vratili se do komandnog modula u kojem je Michael Collins nastavio kružiti oko Mjeseca. Sva su se tri astronauta vratila sigruno natrag na Zemlju 24. srpnja.

Tijekom iduće tri i pol godine obavljeno je još šest putovanja na Mjesec. Najdramatičnije je bilo putovanje *Apolla 13* lansiranog 11. travnja 1970. Kapetan je bio Lovell koji je bio u *Apollu 8* i to mu je bila četvrta svemirska misija. Bio je to jedini let Apolla kojemu je cilj bio Mjesec, no koji nije uspio. Zbog eksplozije u rezervoaru s kisikom izgubila se sva energija u servisnom modulu koji je bio ispod komandnog modula i koji je sadržavao pogonski sistem za srednje kursne korekcije, radi ulaska u lunarnu orbitu i povratka s Mjeseca. To je značilo da je nemoguće spustiti se na Mjesec. Upotrijebivši kisik i energiju iz lunarnog modula, astronauti su uspjeli skrenuti oko Mjeseca i vratiti se bez neprilika na Zemlju.

Apollo 15, lansiran 26. srpnja 1971. pod zapovjedništvom Davida R. Scotta (1932—) koji je bio na *Geminiju 8* i *Apollu 9*, spustio se na Mjesec 29. srpnja. On je nosio »lunarno vozilo« namijenjeno putovanju po Mjesecu. Dvije godine nakon što su ljudska bića prvi put stupila na Mjesec, ona su vozila nešto što je, u biti, bilo automobil površinom Mjeseca. Vozili su taj automobil tri puta, ukupno prešavši 28 kilometara.

Za šest stvarnih spuštanja na Mjesec skupljene su stotine kilograma stijenja te dopremljene na Zemlju.

Poslije prosinca 1972. nije više bilo spuštanja na Mjesec, a u ovom trenutku se ni ne planiraju. Pa ipak, jasno je da se čovjekov horizont proširio da bi uključio i Mjesec. Ljudska bića sigurno se mogu vratiti na Mjesec u svakom trenutku kad budu željela uložiti napore i sredstva da to učine.

10

Unutrašnji Sunčev sustav

ISKORIŠTAVANJE SVEMIRA

Ako će se čovječanstvo vratiti na Mjesec, to svakako neće biti pod uvjetima programa Apollo. Taj se program koristio samom Zemljom kao bazom, a upotrebljavao je i primitivne svemirske brodove koji su se odbacivali poslije jedne upotrebe. To je bilo dovoljno dobro za prve korake istraživanja, no u idućoj fazi mora biti bolje.

S nakanom da se učini više, mora se odrediti točno koliko dobro mogu ljudska bića funkcionirati u svemiru kroz dulja razdoblja, valja izmisliti svemirske brodove koji se mogu više puta upotrijebiti, uspostaviti stalne baze u svemiru i razraditi složenu svemirsku tehnologiju.

Sjedinjene Države lansirale su svoju prvu svemirsku stanicu (tako konstruiran satelit da ostane u svemiru godinama i kroz dulje razdoblje pruži smještaj astronautima) 14. svibnja 1973. godine. Ta svemirska stanica, nazvana *Skylab*, bila je više ili manje cilindrična oblika, dugačka 15 i široka 6,6 metara i bila je podijeljena na dvije prostorije. Masa joj je iznosila 70 tona.

Skylab je bio zaposjednut u tri odvojene prigode, a svaki put je u njemu boravila grupa od tri astronauta. Prva je grupa ostala u *Skylabu* dvadeset osam dana, druga pedeset devet i treća osamdeset i četiri dana. Posljednja misija završena je 8. veljače 1974. godine. Izveden je stanovit broj znanstvenih eksperimenata, a najvažnija je od svega bila sama činjenica da su jedan mjesec, dva mjeseca i potom tri mje-

seca ljudska bića ostala u svemiru u uvjetima bez gravitacije, da su normalno funkcionirala te da nisu imala većih fizičkih ili mentalnih problema.

Skylab je poslije treće misije nastavio kružiti oko Zemlje, nenastanjen i neupotrebljavan, još pet godina. Kretao se egzosferom na prvobitnoj visini od oko 425 kilometara, gdje je bilo prisutno dovoljno pramenova gornje atmosfere da to oslabi njegovu kinetičku energiju te ga jednoga dana dovede na Zemlju.

To se znalo u vrijeme njegova lansiranja. Procijenilo se da će *Skylab* ostati u orbiti deset godina te da će tada biti moguće poslati specijalne brodove konstruirane tako da ga podignu naviše.

Na nesreću, razvoj broda koji bi se za to mogao upotrijebiti je zakasnio, dok je Sunce, aktivnije nego obično u razdoblju maksimuma sunčevih pjega, zagrijalo i proširilo gornju atmosferu nešto više nego normalno, izloživši *Skylab* sili otpora zraka većoj no što se očekivalo.

Potkraj 1978. bilo je jasno da će se *Skylab* sunovratiti na Zemlju negdje tijekom 1979. te kako nema načina da se to spriječi. Sateliti i njihovi dijelovi već su i prije bili stizali na Zemlju; primjerice, jedan sovjetski satelit s nuklearnim komponentama razbio se u nekom udaljenom području Kanada nekoliko godina prije. *Skylab* je, međutim, bio daleko najveći predmet čovjekove izrade koji će ispasti iz svemira te su postojale velike bojazni da će biti štete i gubitaka. Uvjeravanja NASA-e da za to postoje zanemarivo male mogućnosti, te kako je vjerojatnost da će nekoga pogoditi fragmenti *Skylaba* otprilike jednaka mogućnosti pogotka meteorita, nisu bitnije smirila prevladavajuću nervozu.

Konačno, 11. srpnja 1979, obišavši 34.980 orbita, *Skylab* se survao na Zemlju tijekom 34.981. orbite. Odgovorni znanstvenici učinili su sve što su mogli kako bi osigurali pad u ocean. Najveći dio satelita doista je pao u Indijski ocean, no neki su dijelovi uspjeli stići do pustinja zapadne Australije. Nije bilo nikakve materijalne štete niti ljudskih žrtava.

U međuvremenu, od 1975. godine nadalje, Sovjetski je Savez imao vlastite svemirske stanice. Upotrebljavali su ih uglavnom na isti način kao što su Sjedinjene Države upotrebljavale *Skylab*, no kroz dulja razdoblja i još uspješnije. U dvije odvojene prigode, posade sastavljene od tri člana ostale su u svemiru neprekidno pol godine. Jedan je kozmo-

naut bio u obje te misije pa je tako ostao u svemiru u uvjetima bez gravitacije ukupno godinu dana. Ni tada nije bilo izvještaja ni o kakvim fizičkim ili mentalnim problemima.

Čini se, prema tome, kako nema dvojbe da ljudska bića mogu živjeti i raditi dulje vremena u svemirskom okolišu. Sljedeća stvar koju valja napraviti jest usavršavanje naših svemirskih brodova.

Iz tog razloga i Sjedinjene Države i Sovjetski Savez razvijaju tzv. svemirske linijske brodove (space shuttle). To su vozila koja bi se trebala moći upotrebljavati više puta. Konstruirana su tako da odlaze u svemir i vraćaju se, ponovno i ponovno.

Američki svemirski linijski brod omele su teškoće i intenzivni napori kako bi bilo sigurno da su riješeni svi tehnički problemi. Primjerice, keramičke pločice koje prekrivaju letjelicu (ukupno 31.000 komada) morale su ostati dobro pričvršćene o brod pod najtežim uvjetima kako bi sigurno mogle odoljeti toplini i atmosferskom pritisku na povratnom putovanju.* Napokon, to je bio jedini veliki novi pothvat na području svemirskih letova s posadom kojem nisu prethodili testovi bez posade te je ljude trebalo zaštiti pod svaku cijenu.

Kao posljedica toga, program svemirskog linijskog broda opetovano se odgađao, kao i procijenjeni datum prvog leta. Napokon, 12. travnja 1981, prvi operativni svemirski linijski brod, *Columbia,* besprijekorno je poletio i, dva dana kasnije, besprijekorno sletio, dok je nacija promatrala i klicala svoje odobravanje.

Nedvojbeno, upotrebljavat će se sve više takvih letjelica koje će služiti za parkiranje satelita u orbiti te za odvoženje građevnih komponenti u svemir za kasniju proizvodnju većih struktura koje ne bi bilo moguće lansirati u jednom komadu.

Radeći to, čini se razložnim pretpostaviti kako ćemo graditi tvorevine koje će nam pomoći da iskoristimo resurse što će nam ih pružiti obližnji svemir.

Ponajprije, postoji sunčeva energija koja neprekidno zrači u našem smjeru. Fosilna goriva na koja se uglavnom oslanjamo za dobivanje energije neće vječno trajati, a osobito

* Pločice daju letjelici izgled zida od opeke, što neobično podsjeća na Haleov »Mjesec od opeke«.

nafta, obilan izvor energije, neće mnogo nadživjeti dvadeseto stoljeće. Prema tome, već postoji snažan poticaj u korist razvitka sunčeve energije kao alternativnog izvora.

Skupljanje te energije na površini Zemlje ima stanovitih nepovoljnih aspekata. Svaka kolektorska stanica na površini bila bi u noćnoj sjeni Zemlje u prosjeku dvanaest od svaka dvadeset i četiri sata. Čak i čisti zrak apsorbira znatan dio sunčeve svjetlosti, a to postaje naglašenije što je Sunce udaljenije od zenita i što je atmosfera više ispunjena prašinom i maglom.

Umjesto toga, mogli bismo zamisliti solarnu elektranu u orbiti oko Zemlje. Niz fotovoltaičnih stanica koje pretvaraju energiju zračenja u električnu energiju bio bi izložen punom opsegu sunčeva isijavanja bez ikakvih atmosferskih smetnji. Ako bi se nalazile u sinhronoj orbiti (oko 35.000 kilometara iznad Zemljine površine) u ekvatorijalnoj ravnini, okretala bi se jednako kao i Zemlja te bi se činilo kao da lebdi iznad jedne točke na Zemljinu ekvatoru. Tada bi dolazila u Zemljinu noćnu sjenu samo tijekom razdoblja ekvinocija u ožujku i rujnu. Ukupno bi bila u mraku samo oko tjedan dana na godinu.

Procijenjeno je da bi niz fotovoltaičnih stanica mogao pretvoriti šezdeset puta više sunčeve energije u električnu nego isti takav niz na Zemljinoj površini. Električna energija nastala u svemiru mogla bi se pretvarati u mikrovalove i usmjeravati na Zemljinu površinu, gdje bi se mogla skupljati mnogo efikasnije nego originalna sunčeva svjetlost.

Seriju takvih solarnih energana bilo bi skupo i teško postaviti u svemiru, no kad bi jedanput bile postavljene, vrlo bi brzo mogle nadoknaditi troškove i postale bi bitan dio Zemljine tehnološke civilizacije.

U svemiru bi se mogle sagraditi i druge korisne tvorevine. Mogli bi, naravno, postojati astronomski opservatoriji. Mogli bi postojati i istraživački laboratoriji koji bi iskorištavali ona svojstva svemira što ih je teško (ili nemoguće) kopirati na površini Zemlje. Takva svojstva uključuju prisutnost neograničenih volumena visokog vakuuma; visokih i niskih temperatura, ovisno o tome je li neki objekt izložen sunčevoj svjetlosti ili je u sjeni; visoke radijacije, pri izlaganju sunčevoj svjetlosti; te uvjeta nepostojanja gravitacije. Čak je i izolacija od Zemlje uz pomoć tisuća kilometara vakuuma

korisno svojstvo, jer bi se opasni eksperimenti mogli tamo izvoditi, a ne na Zemljinoj površini pretrpanoj ljudima.

Mnogi industrijski laboratoriji, visoko automatizirani i robotizirani, mogli bi biti smješteni u orbiti. U tom bi se slučaju mnogi neizbježni otpadni proizvodi i industrijski zagađivači mogli izbacivati u svemir, a ne u Zemljinu biosferu.

Prednosti su toga u tome što je svemir mnogo manje osjetljiva okolica od biosfere te je daleko manja vjerojatnost da bi mu se moglo naškoditi; i što svemir ima beskrajno veći volumen od biosfere te bi mogao daleko djelotvornije razrijediti otpad. Otpaci čak ne bi ni ostali u blizini Zemlje, jer bi ih solarni vjetar (struja visokoenergetskih čestica koja neprekidno teče od Sunca u svim smjerovima) raspršio u daleko veći i udaljeniji prostor vanjskog Sunčeva sustava i još dalje.

Na taj bi način razvitak svemira mogao za nas sačuvati sve prednosti visokoindustrijaliziranog društva, dok bi same industrije uklonio (barem do određenog opsega) iz naše neposredne sredine, smanjujući time njihove negativne strane.

Metali, beton i staklo potrebni da se sagrade sve te strukture u svemiru lako bi se mogli pribaviti s Mjeseca, a ne sa same Zemlje. Jedini bitni elementi kojih nema na Mjesecu jesu ugljik, dušik i vodik, a njih na Zemlji ima obilno, što bi moglo poslužiti kao privremeni izvor, tako dugo dok naša svemirska tehnologija ne raširi krila još dalje od Mjeseca.

Konačno, govoreći o nematerijalnim stvarima, svemirsku tehnologiju mogli bi lako razvijati narodi Zemlje u suradnji, jer će od rezultata svi imati ogromne koristi. To bi moglo poslužiti kao pozitivan činitelj u ohrabrivanju još veće suradnje, okončavši ratovanja koja su uvijek zaokupljala ljudska bića te koja su danas dosegla vrhunac intenziteta i moći što bi sigurno mogao zbrisati našu civilizaciju, čak i potpuno uništiti čovječanstvo.

Moglo bi se činiti da je to pollyannski* način gledanja na stvari, no danas je svjetska situacija tako zatrašujuća da ne bi bilo loše pokušati i uvjeriti se.

---

* Pollyanna, vrlo optimistična junakinja iz romana američke spisateljice Eleanor H. Porter (prev.)

Sve bi se to još moglo ostvariti, čak i kad se Zemljin sve širi horizont koji je sada dosegao Mjesec, ne bi dalje širio. No je li uopće moguće da se neće dalje proširivati? Dosegavši Mjesec, jesmo li se zaustavili? *Moramo* li se zaustaviti?

Poteškoća se nalazi u daljini.

Mjesečeva udaljenost od Zemlje je između 356.000 i 407.000 kilometara, ovisno o njegovu položaju u orbiti. To zapravo i nije baš velika udaljenost. U prosjeku, udaljenost do Mjeseca samo je oko 9,5 puta veća od Zemljina opsega.

Lunarnu udaljenost prvi je pojmio starogrčki astronom Hiparh iz Niceje (190—120 prije n. e.), već 150 godina prije nove ere. No, grčki astronomi nisu imali instrumenata uz pomoć kojih bi mogli stvoriti pojmove o udaljenosti ma kojega drugog nebeskog tijela.

Planetarne udaljenosti mogle su se konačno određivati tek nakon što je Galileo prvi put upotrijebio teleskop 1609. godine i nakon što je nizozemski fizičar Christian Huygens (1629—95) izumio prvi točan sat 1656. godine. Te prve prihvatljive vrijednosti izračunao je talijansko-francuski astronom Giovanni Domenico Cassini (1625—1711). Tek je tada razjašnjen ogroman domašaj Sunčeva sustava.

Razmotrimo, primjerice, druge planete unutrašnjeg Sunčeva sustava — tijela koja su općom kemijskom strukturom slična Zemlji ili Mjesecu. Postoje tri takva planeta: Merkur, Venera i Mars.

Od njih, Venera je najbliži susjed. Njezina stvarna udaljenost ovisi o određenom položaju Zemlje i Venere u njihovim orbitama. Kad su obje s iste strane Sunca i u izravnoj liniji sa Suncem, Zemlja i Venera tada su jedna drugoj najbliže. No čak i tada ih razdvaja, najmanje, 38,900.000 kilometara. Kad je najbliži Zemlji, Mars je udaljen 56,000.000 kilometara, a Merkur 80,000.000 kilometara.

Drugim riječima, čak i na najbližoj točki, Venera je 95,6 puta udaljenija od Mjeseca na najudaljenijoj točki; Mars je udaljeniji 137,6 puta; a Merkur 196,6 puta. Dok putovanje do Mjeseca traje samo tri dana, putovanje samo do Venere trajalo bi mnogo mjeseci, a na sadašnjoj razini tehnologije to ne bi bio lagan zadatak.

No, ako i dvojimo o sposobnostima da sami odemo do tih svjetova, barem u ovom trenutku, nema razloga zašto ne bismo poslali svoje instrumente, i zapravo smo to i učinili. Svemirske sonde prolazile su pokraj svakog od tih svjetova, s rezultatima koji su donijeli zadovoljstvo astronomima.

Prvi planet kojem je ukazana pažnja takvih sonda bila je Venera. Ona nam se najviše približila i, u svakom slučaju, već je pružila iznenađujuće podatke.

Venera je stalno prekrivena oblacima pa se tako ništa od njezine površine ne bi moglo vidjeti optičkim teleskopima, ma kako bili veliki i razvijeni, no obična svjetlost nije jedini tip zračenja što ga astronomi mogu upotrijebiti.

Već 1931. godine, američki radio-inženjer Karl Guthe Jansky (1905—50) otkrio je radio-valove koji su stigli na Zemlju iz kozmičkog prostora. U to je vrijeme astronomima nedostajalo nužne opreme da obrade te radio-valove.

Međutim, tijekom drugoga svjetskog rata, nužnosti ratovanja dovele su do naglog razvitka naprava za stvaranje i otkrivanje snopova relativno kratkih radio-valova nazvanih »mikrovalovi« (koji su, unatoč nazivu »mikro« što znači »mali«, mnogo duži od svjetlosnih valova). Ti mikrovalovi mogu prodrijeti kroz izmaglicu, maglu i oblake, što svjetlosni valovi ne mogu. Mikrovalovi se, međutim, mogu reflektirati od krutih tijela, kao što to mogu i svjetlosni valovi. Reflektirani mikrovalovi mogu se otkriti nakon refleksije, prema vremenskom razmaku između emisije mikrovalova i detekcije odjeka može se odrediti udaljenost (i, naravno, smjer) krutoga tijela od kojeg su se odbili.

Na principu emisije mikrovalova i detekcije odbijanja funkcionira radar. Britanci su prvi razvili radar do stupnja na kojem se mogao upotrebljavati i upravo su primjenom radara uspjeli spremno dočekati njemačke planove i pobijediti u bici za Britaniju 1940. godine.

Poslije drugoga svjetskog rata astronomi su iskoristili stručno znanje o radarima za razvitak nužne opreme kako bi mogli raditi s radio-valovima općenito. Tako je rođena radioastronomija.

Snopovi mikrovalova mogli bi se, primjerice, odaslati do vanjskih svjetova i potom detektirati odbijanje. Udaljenost tih svjetova mogla bi se zatim odrediti jednako lako kao i udaljenost aviona što se približavaju. Godine 1946. mađarski

znanstvenik Zoltán Lajos Bay (1900—) reflektirao je mikrovalove s Mjeseca.

Venera je mnogo udaljeniji objekt pa ju je, prema tome, teže pogoditi. K tome, također zbog udaljenosti, refleksija je slabija i teže ju je otkriti. Pa ipak, 1958. Venera je pogođena mikrovalovima i ta je refleksija otkrivena. To je omogućilo da se odredi udaljenost između Venere i Zemlje u tom trenutku točnije nego što je bilo moguće ma kojom drugom metodom, a iz toga su se mnogo točnije nego prije mogle izračunati sve druge udaljenosti u Sunčevu sustavu. Pokazalo se da su sve te udaljenosti zapravo bile oko 0,5 posto manje nego što se mislilo.

I tako biva da sva tijela odašiljaju zračenja. Ako su dovoljno vruća, zračenje je dovoljno snažno i dovoljno kratkovalno da se probije u obliku svjetlosnih valova, barem djelomično. Ako zagrijavate neki predmet, on će napokon doći u stanje crvenog žara. Ako ga i dalje zagrijavate, doći će u stanje bijelog žara.

Objekti koji su prehladni da bi postigli crveno užarenje šire infracrvene valove koji su duži od običnih svjetlosnih valova i slabiji. Infracrveni valovi ne mogu se vidjeti okom, no mogu se detektirati instrumentima. Što je neki objekt hladniji, to su duži valovi koje širi, u prosjeku. Temperatura nekog objekta može se odrediti prema strukturi emitiranih valova.

Venerina površina emitira dugovalno zračenje, uključujući i znatne količine mikrovalova. Dok se obična svjetlost ne može probiti kroz sloj oblaka oko planeta, mikrovalovi se kroza nj mogu probiti posve lako.

Godine 1956. analizirana je struktura mikrovalnog zračenja s Venere i smjesta se pojavilo, na temelju te strukture, da bi Venera mogla biti toplija nego što se mislilo — čak znatno toplija. U to je dobi bilo uobičajeno shvaćanje da je Venera, budući bliža Suncu, toplija od Zemlje, no kako postoji zaštitni sloj oblaka koji odbija najmanje tri četvrtine pristižuće sunčeve svjetlosti, da vjerojatno nije mnogo toplija od Zemlje. Međutim, činilo se da je mikrovalno zračenje s Venere u suprotnosti s tim.

Tijekom idućih nekoliko godina, i Sovjetski Savez i Sjedinjene Države razvili su sposobnost odašiljanja satelita u orbitu oko Zemlje pa su počeli planirati sonde za Veneru.

Prva uspješna Venerina sonda bio je *Mariner 2* što su ga Sjedinjene Države lansirale 27. kolovoza 1962. Putovao je krivudavom stazom kojom je prošao 290,000.000 kilometara za 109 dana. Konačno, 14. prosinca 1962, kad je bio udaljen od Zemlje 58,000.000 kilometara u ravnoj liniji, prošao je pokraj Venere na udaljenosti 35.000 kilometara iznad njezina sloja oblaka.

Instrumenti na *Marineru 2* uspjeli su vrlo detaljno izmjeriti mikrovalno zračenje s Venere na raznim točkama njezina globusa. To je pokazalo da je površina Venere toplija i od onoga što su nagovijestila prva mikrovalna mjerenja na Zemlji, a sve kasnije sonde to su potvrdile.

Površina je, sad smo sigurni, paklenski vruća na cijeloj Veneri, blizu polova jednako kao i na ekvatoru, na onoj strani koja je u mraku kao i na onoj izloženoj suncu. Površinska temperatura je oko 475° Celzija (890° Fahrenheita)*, a to je više no dovoljno vruće da rastali kositar i olovo te da živu dovede do ključanja.

Zašto je Venera tako iznenađujuće vruća? Čini se da je za to odgovorna atmosfera.

Sovjetski Savez poslao je niz sondi prema Veneri od kojih su dvije, *Venera 9* i *Venera 10*, uspjele pogoditi sam planet i spustiti se na površinu uz pomoć padobrana u listopadu 1975. One nisu dugo izdržale, jer su uvjeti na površini Venere ekstremni. No, ipak su imale šansu pokazati da atmosfera Venere ima gustoću oko devedeset puta veću od gustoće Zemlje.

Sonde su fotografirale Venerinu površinu i bile su to prve fotografije koje su ikad stigle s tog planeta. One su pokazale suhu, kamenitu površinu koja je bila iznenađujuće dobro osvijetljena. Oblaci u Venerinoj atmosferi blokiraju do 97 posto sunčeve svjetlosti što dopire do planeta, no količina koja se probije dosta je da bi Venerina površina bila jednako svijetla kao Zemljina za oblačna dana.

Sve se to potvrdilo nakon što su Sjedinjene Države 20. svibnja 1978. lansirale *Pioneer Venus*. On je stigao 4. prosinca 1978. i poslao nekoliko manjih sondi u atmosferu Venere.

* Cezij i Fahrenheit obično se skraćeno pišu »C« i »F«. O ta dva načina mjerenja temperature govorit će se podrobnije kasnije u knjizi (vidi str. 340).

Pokazalo se da se atmosfera Venere sastoji od 96,6 posto ugljičnog dioksida i 3,2 posto dušika.

Ugljični dioksid ima svojstvo apsorbiranja dugovalnog zračenja i topline kao posljedica toga, dok kisik i dušik nemaju to svojstvo. Zemljina relativno rijetka atmosfera sastavljena od kisika i dušika propušta danju sunčevu svjetlost koju tlo apsorbira, a kao posljedica toga ono se zagrijava. Noću Zemlja isijava tu toplinu u prostor u obliku dugovalnog infracrvenog zračenja koje također prolazi kroz kisik i dušik, rashlađujući Zemlju toliko (u prosjeku) koliko je bila zagrijana tijekom dana.

Venerina gusta radijacija ugljičnog dioksida propušta svu sunčevu svjetlost koja se probila kroz oblake da bi dosegla tlo i zagrijavala ga. Noću, međutim, infracrveno zračenje s tla ne može proći kroz ugljični dioksid, tako da se Venera ne hladi. Njezina temperatura raste; stvara se sve više infracrvenog zračenja; i napokon ga se dovoljno uspijeva probiti kroz atmosferu tako te se Venera ne zagrijava dalje. No, do tada je Venera postala već doista vrlo topla.

To se zove »staklenički efekt«, jer se ponekad navodi da zbog iste pojave staklenici ostaju topli za hladna vremena (iako se čini da je tamo stvarni efekt ponešto drukčiji).

Zahvaljujući *Pioneeru Venusu*, astronomi su uspjeli izraditi kartu Venerine površine dosta podrobno, unatoč tome što je vječno zasjenjuje sloj oblaka. Da bi se to učinilo, nužno je upotrijebiti snopove mikrovalova koji se probijaju kroz oblake na putu do površine, a potom se odbijaju od nje stvarajući reflektirani snop koji se probija kroz oblake na povratnom putu. Reflektirani snop mikrovalova pruža podatke o površini, kao što bi to učinio i reflektirani snop svjetlosnih valova. (Mikrovalovi se, naravno, moraju analizirati uz pomoć instrumenata, dok bi se svjetlosni valovi mogli analizirati okom ili kamerom. Uz to, kako su mikrovalovi duži od svjetlosnih valova, oni pružaju nejasnije podatke — otprilike kao kad bi se površina promatrala astigmatično.)

Čini se da je najveći dio Venerine površine ravan, i od vrste kakvu povezujemo s kontinentima prije no s oceanima, pa bi iz toga proizašlo da Venera nikad nije imala oceana, čak ni u najranijoj povijesti, već, najviše, nešto unutrašnjih mora. Kontinentalno područje čini oko pet šestina čitave površine, dok male regije nizina čine preostalu šestinu.

Ogroman Venerin superkontinent ima nekih nagovještaja kratera, ali ne mnogo. Možda ih je bila erodirala gusta atmosfera. Postoje, međutim, uzdignuti dijelovi superkontinenta, od kojih su dva osobito velika.

Tamo gdje bi, na Zemlji, bilo arktičko područje, na Veneri se nalazi veliki plato koji je nazvan Ishtar Terra (»Ištarina zemlja«; Ištar je babilonska verzija rimske božice Venere).

Ishtar Terra velika je otprilike kao Sjedinjene Države. Zapadni joj je dio razmjerno ravan i uzdignut je oko 3,3 kilometra iznad normalne razine Venere. U istočnom se dijelu nalazi planinski lanac, Maxwell Montes, kojega su najviši vrhovi čak 11,8 kilometara iznad prosječne razine izvan platoa. Oni su 3,7 kilometara viši od Mt. Everesta na Zemlji.

Na ekvatorijalnom području Venere nalazi se drugi, još veći plato nazvan Aphrodite Terra (Afrodita je grčka verzija rimske Venere). Širok je 9.600 kilometara i ima neke vrhove visoke 8 kilometara. Od istočnoga kraja Afroditine zemlje proteže se grupa velikih kanjona dugačkih oko 5.000 kilometara. Neki od njih raskoljuju koru do dubine od 2,9 kilometara ispod prosječne razine Venerine površine.

Malo uzvišeno područje jugozapadno od Ištarine zemlje je Beta Regio sa dvije planine, Rhea Mons i Theia Mons, obje visoke oko 4 kilometra. To bi mogli biti vulkani. Rhea Mons proteže se područjem velikim otprilike kao New Mexico i bila bi daleko veća od ijednog vulkana na Zemlji.

Ti platoi, planinski lanci, vulkani i kanjoni čine samo 5 posto Venerine površine.

MERKUR

Jedini veći objekt koji kruži oko Sunca na udaljenosti manjoj od Venerine jest planet Merkur. On obiđe oko Sunca za osamdeset i osam dana, a do 1962. godine držalo se da se i oko svoje osi okrene također za osamdeset i osam dana. To bi značilo da je uvijek okrenut prema Suncu jednom svojom stranom, a da je druga uvijek okrenuta od Sunca.

Međutim, 1962. godine, proučavanja mikrovalova reflektiranih od Merkurove površine pokazala su da njegova rotacija traje zapravo 58,65 dana, ili točno dvije trećine razdob-

lja njegove revolucije, tako da je svaki dio Merkurove površine izložen i danu i noći.

Merkurova maksimalna temperatura na točki gdje je Sunce u zenitu u vrijeme kad Merkurova orbita dovodi taj planet najbliže orbiti Sunca iznosi 425°C (800°F). To nije tako visoka temperatura kao Venerina, iako je Venera udaljenija od Sunca — ali Merkur nema atmosfere, pa stoga ni plinova koji bi pohranjivali i čuvali toplinu.

Uz to, Venerina temperatura ostaje prilično blizu maksimuma cijelo vrijeme, posvuda na njezinoj površini. Merkur, s druge strane, gubi toplinu (jer nema atmosfere koja bi je zadržavala) kad se Sunce spušta, osobito u vrijeme kad je Sunce ispod horizonta. Do trenutka kad je Sunce bilo odsutno tijekom duge noći i kad se sprema pojaviti, temperatura se spustila do —180°C (—290°F).

Unatoč činjenici da Merkur nema atmosfere, on je tako daleko od Zemlje i uvijek ga vidimo tako blizu Sunca da teleskopi na Zemlji nisu mogli razabrati zapravo ništa od njegove površine. Primjena sondi to je promijenila.

Trećeg studenoga 1973. godine lansiran je *Mariner 10.* Prošao je pokraj Mjeseca i potom, 5. veljače 1974, pokraj Venere samo 5.800 kilometara iznad sloja oblaka. Uputio se zatim prema Merkuru, postavši prva Merkurova sonda kad je, 29. ožujka 1974, preletio 700 kilometara iznad Merkurove površine.

Zatim se kretao oko Sunca orbitom koja mu je osiguravala razdoblje revolucije od 176 dana, što je dvostruka dužina Merkurove godine. To ga je dovodilo natrag do Merkura svaki put kad bi planet završio dvije revolucije. *Mariner 10* prošao je drugi put pokraj Merkura 21. rujna 1974, i zatim treći put 16. ožujka 1975. Pri trećem prolazu našao se na samo 327 kilometara iznad njegove površine. Nakon trećeg prolaza *Mariner 10* potrošio je plin koji ga je držao u stabilnom položaju pa je poslije toga bio beskoristan za daljnja proučavanja planeta.

Fotografije Merkura koji je snimio *Mariner 10* pokazale su krajolik vrlo sličan Mjesečevu. Posvuda je bilo kratera, a najveći zapažen imao je promjer 200 kilometara.

Merkur nije tako bogat morima kao Mjesec. Najveće primijećeno na Merkuru široko je oko 1.400 kilometara. Nazvano je Caloris (»Vrućina«) zato što se nalazi na onome mje-

stu na Merkuru gdje je Sunce točno iznad glave kad je najbliže tom planetu.

Merkur posjeduje i grebene dugačke nekoliko stotina kilometara i visoke oko 2,5 kilometara.

Mariner 10 fotografirao je samo oko tri osmine Merkurove površine tijekom svoja tri radna prolaza, no astronomi pretpostavljaju da je preostali dio površine planeta uglavnom sličan onome što se vidjelo.

MARS

Preostali planet unutrašnjeg Sunčeva sustava je Mars. Za razliku od Merkura i Venere, Mars je udaljeniji od Sunca nego što je to Zemlja i mnogo ga je lakše promatrati nego Merkur i Veneru. Mars u određenim trenucima može biti znatno bliže Zemlji nego što je ikada Merkur i noću je vidljiv visoko na nebu punim svojim vidljivim licem na sunčevoj svjetlosti, dok su Merkur i Venera uvijek dosta blizu Suncu i, kad su na bližoj strani svojih orbita, pokazuju samo dio svoga lica izložena sunčevoj svjetlosti.

Mars ima atmosferu, ali ona je vrlo rijetka, a uz to postoji jedva nešto oblaka ili izmaglice koji bi zasjenili površinu. Među planetima unutrašnjeg Sunčeva sustava on je, prema tome, jedini (osim same Zemlje, naravno) kojemu se mogla izraditi karta uz pomoć teleskopa smještenih na Zemlji. Ta je karta uglavnom pokazivala obrazac svjetlosti i sjene (koji je, prema nekim mišljenjima, predstavljao kopno i more). Godine 1877, međutim, talijanski astronom Giovanni V. Schiaparelli (1835—1910) izvijestio je o otkriću dugačkih, uskih, tamnih šara koje je nazvao *canali* (»korita«).

Astronomi u Velikoj Britaniji i Sjedinjenim Državama preveli su to kao »kanale«, pri čemu su neki od njih držali da to nagovještava postojanje inteli ntnoga života na Marsu, života sposobna za velike inženjerske pothvate. Najveći zagovornik tog stajališta bio je američki astronom Percival Lowell (1855—1916). On je 1894. objavio knjigu o toj temi koja je popularizirala zamisao o Marsu kao o boravištu inteligentnog života, a H. G. Wells dalje ju je popularizirao svojim romanom *Rat svjetova* objavljenim 1898. Od tada nadalje, Mars je bio daleko najzanimljiviji planet za sve koji su se imalo zanimali za astronomiju.

Nakon što su sonde dobavile podatke o Mjesecu i o Veneri, i u Sovjetskom Savezu i u Sjedinjenim Državama ozbiljno se počelo raditi na sondama za Mars.

Prva takva uspješna sonda bio je *Mariner 4* lansiran 28. studenoga 1964. godine. On je prošao pokraj Marsa na udaljenosti od 10.000 kilometara iznad površine 14. srpnja 1965.

Dok je *Mariner 4* prolazio pokraj Marsa, snimio je dvadeset fotografija koje su usmjerene na Zemlju kao mikrovalni signali. Prvi je puta u povijesti bilo moguće vidjeti površinu nekog drugog planeta prilično jasno.

Na tim fotografijama nisu se vidjeli nikakvi znaci nekih kanala. Pojavio se umjesto toga određen broj kratera, vrlo sličan onima na Mjesecu. Štoviše, drugi podaci koje je na Zemlju prenio *Mariner 4* pokazali su da je Marsova atmosfera sastavljena uglavnom od ugljičnog dioksida i da je rjeđa nego što se očekivalo, samo jednu stotinku gustoće Zemljine atmosfere. Mogućnost inteligentnoga života strmoglavo se smanjila.

Mariner 6 lansiran je 24. veljače 1969, a *Mariner 7* 27. ožujka 1969. godine. Oba su bila opremljena tehnički savršenijom opremom od *Marinera 4*. Njihove fotografije bit će jasnije i s više detalja od onih prethodne sonde.

Mariner 6 prošao je blizu Marsa 30. srpnja 1969, a *Mariner 7* slijedio je 4. kolovoza. Zajedno su poslali na Zemlju 199 fotografija.

Nove su fotografije pokazale da nije bilo zabune u vezi s kraterima. Marsova je površina bila izrešetana kraterima — na nekim mjestima jednako gusto kao i Mjesečeva. No, nove su sonde pokazale da Mars nije potpuno isti kao i Mjesec. Na fotografijama je bilo područja gdje je Marsova površina djelovala ravno i jednolično, ili zbrkana i neravna na način koji nije podsjećao ni na površinu Zemlje ni na površinu Mjeseca.

Ni nove fotografije nisu odavale nikakva traga kanalima. Osim toga, sonde su pokazale da je temperatura Marsa niža nego što se očekivalo, a nije se činilo vjerojatnim niti da na planetu ima tekuće vode (iako on ima polarne kape koje bi mogle sadržavati led). Bez slobodne vode na površini, bez kisika u atmosferi i bez tragova kanala, mogućnosti postojanja inteligentnog života na Marsu spustile su se negdje na ništicu.

Tridesetoga svibnja 1971. lansiran je *Mariner 9*. Planiralo se postaviti ga u orbitu oko Marsa, i to je ostvareno 13. studenoga 1971, kad je stigao do tog planeta. Bila je to prva čovjekova rukotvorina što je ikad bila postavljena u orbitu oko nekog drugog svijeta osim Zemlje i Mjeseca (samo četrnaest godina nakon što je prva rukotvorina stavljena u orbitu oko Zemlje).

Ubrzo nakon što je *Mariner 9* ušao u orbitu oko Marsa, stigle su dvije sovjetske Marsove sonde, *Mars 2* i *Mars 3*. Svaka je od njih spustila po jednu manju sondu na površinu Marsa, prva 27. studenoga 1971, a druga 2. prosinca 1971. godine.

Na nesreću, 22. rujna 1971. započeo je olujni vjetar s oblacima guste prašine koji je zahvatio čitav planet. Kad su tri sonde doprle do Marsa, oluja je još bjesnjela. Sovjetske sonde koje su izvele prva spuštanja na Mars nisu izdržale oluju, ali *Mariner 9*, siguran u orbiti, čekao je da ona prođe.

Dok je čekao, *Mariner 9* fotografirao je Marsova dva malena satelita. Do tog se vremena nije znalo ništa o njima, izuzevši njihove orbite i činjenicu da su malešni. Fotografije su pokazale da su to nepravilni ovoidi, zapanjujuće krumpirasta oblika.

Phobos je bliži od ta dva satelita i veći, širok 28 kilometara na najširem dijelu. Drugi, Deimos, širok je 16 kilometara na najširem dijelu.

Phobos je gusto posut kraterima, a najveći je krater nazvan Stickney, po djevojačkom prezimenu žene astronoma Asapha Halla (1829—1907) koji je otkrio te satelite. Ona ga je natjerala da »pokuša još jednu noć« kad je već nakanio odustati.

I Deimos ima biljege kratera; dva najveća su nazvana Voltaire i Swift, prema ta dva satiričara koji su govorili da Mars ima dva satelita mnogo prije no što bijahu otkriveni. Čini se, međutim, da su njegovi krateri ispunjeni, i gotovo prekriveni, prašinom i šljunkom.

U prosincu 1971. oluja se konačno smirila i *Mariner 9* prihvatio se fotografiranja Marsa. Na kraju je uspio izraditi karte cijelog Marsa, tako da je njegova površina postala poznata jednako dobro i temeljito kao i površina Mjeseca.

Prva stvar koju su te fotografije utvrdile, jedanput zauvijek, jest da na Marsu nema kanala. Sve one tamne, uske linije bile su optičke varke (kao što su neki astronomi nago-

vještavali mnogo prije vremena sondi). Svijetla i tamna područja nemaju nikakve veze s kopnom i morem, već su proizvod svijetle i tamne prašine koju raspršuju sezonski vjetrovi, kao što je američki astronom Carl Sagan (1935—) ustvrdio nekoliko godina prije.

Krateri koje su otkrile prethodne fotografije bili su većinom koncentrirani samo na jednoj polutki Marsa. Druga polutka ima razmjerno malo kratera, no ima drugih značajnih obilježja, primjerice objekata koji su očito vulkani.

Najznačajniji vulkani nalaze se na području koje je Schiaparelli nazvao Tharsis. Najveći je 1973. godine dobio ime Olympus Mons (»Brdo Olimp«). Mnogo je veći od ikojeg vulkana na Zemlji.

Jugozapadno od poručja Tharsis proteže se kanjon dubok do 2 kilometra, širok do 500 kilometara i dugačak oko 3.000 kilometara. Nazvan je Valles Marineris (»Mornarska dolina«). Devet je puta duži od Grand Canyona, četrnaest puta širi i dva puta dublji.

Sad je bilo potrebno meko spuštanje na Mars, onako kako je to uspjelo Sovjetima 1971, no to se moralo izvesti u vrijeme kad na planetu ne napreduje nikakva ubilačka pješčana oluja.

S tim na umu, *Viking 1* lansiran je 20. kolovoza 1975, a *Viking 2* 9. rujna iste godine. Oba su ušla u orbitu oko Marsa. Potrajalo je nešto vremena dok nije pronađeno mjesto dovoljno ravno da posluži za meko spuštanje, no 20. srpnja 1976. subsonda *Vikinga 1* (»lender«) spustila se na 22,27 stupnjeva sjeverno od Marsova ekvatora. Nekoliko tjedana kasnije sigurno se spustio i lender *Vikinga 2*, na 47,97 stupnjeva sjeverno od Marsova ekvatora.

Dok su se spuštali, lenderi su analizirali Marsovu atmosferu, otkrivši da se sastoji od 95 posto ugljičnog dioksida, 2,7 posto dušika i 1,6 posto argona. Pokazalo se da je površinska temperatura prilično niska. Čak i kad je najviša, temperatura tla nije se penjala do točke topljenja leda.

Kad su se lenderi našli na tlu Marsa, snimili su fotografije koje su usmjerili na Zemlju. Oba su lendera, iako međusobno udaljena, pokazala istu vrstu krajolika — opustošeno pustinjsko područje posijano stijenjem svih veličina, od malih kamičaka do velikog kamenja. Fotografije su bile u boji te su pokazale da je kamenje izrazito crvene boje.

Nebo je bilo sjajne ružičaste boje lososovine, nedvojbeno od crvenkaste prašine u zraku.

Analiza uzoraka Marsova tla pokazala je da je ono bogatije željezom i siromašnije aluminijem od tla Zemlje, no razlike nisu bile velike.

Interesi su, međutim, bili ponajprije usredotočeni na eksperimente koje bi mogli obaviti lenderi, a namjera im je bila da se pokaže je li u tlu Marsa prisutan mikroskopski život. To je ovisilo o tome hoće li uzorak tla moći proizvesti neke fundamentalne reakcije koje bi, pod sličnim uvjetima, mogao proizvesti zemaljski život i, ako je tako, bi li se izgubila sposobnost Marsova tla da to čini ako bi se ono zagrijalo pod uvjetima koji bi uništili zemaljski život ako bi on bio prisutan.

Pokušalo se sa tri odvojena eksperimenta i u sva su tri rezultati bili onakvi kakvi bi se očekivali kad bi bio prisutan život, pa ipak ti rezultati nisu bili tako bjelodani da bi prisilili na takav zaključak. To je bilo osobito točno s obzirom na četvrti eksperiment koji je pokazao da u Marsovu tlu nema zamjetljivih organskih tvari a, barem na Zemlji, svi oblici života bez iznimke sastavljeni su od organskih tvari. Znanstvenici su bili spremni prihvatiti neorganski život pa su stoga pokušali pronaći načine na koje bi tlo Marsa moglo dati te životu slične reakcije, iako život nije bio prisutan.

Pitanje mikroskopskog života na Marsu tako još nije potpuno riješeno, iako bi većina znanstvenika priznala da vjerojatnost govori protiv života.

11

Mars i dalje

SVEMIRSKA NASELJA

Tako je čovječanstvo do 1980. godine temeljito istražilo sve velike svjetove unutrašnjeg Sunčeva sustava — Zemlju i njezin satelit, Mjesec; Veneru; Merkur; te Mars i njegova dva mala satelita, Phobos i Deimos.

Postoje mala tijela koja se ponekad privremeno pojavljuju u prostoru unutrašnjeg Sunčeva sustava: asteroidi, meteoridi, kometi. Može se smatrati da su ona unutar sadašnjega horizonta čovječanstva, jer kad god ljudska bića požele, ona mogu, primjerice, poslati sondu da proučava Halleyjev komet kad se idući put pojavi (1986) unutar unutrašnjeg Sunčeva sustava.

I dalje, znanstvenici bi mogli poslati sondu da proučava mali asteroid Ikar kad se on idući put primakne dosta blizu Zemlji. (Taj asteroid, ne veći od jednoga kilometra u promjeru, može se, povremeno, približiti Zemlji na 6,400.000 kilometara.)

Bilo bi osobito zanimljivo kad bi se Ikar, za jednoga od njegovih blizih prolaza, opremio odgovarajućim instrumentima prikladno zaštićenima od vrućine i radijacije, jer se Ikar u svojoj orbiti približava Suncu na samo 28,400.000 kilometara. To je znatno bliži pristup Suncu no što ga ikad ostvare Merkur ili sva druga poznata tijela (osim poneki komet). Drugim riječima, Ikara bismo mogli pretvoriti u »Sunčevu sondu«. (Moramo zapamtiti da je i Sunce član unutrašnjeg Sunčeva sustava.)

Dakako, sva istraživanja unutrašnjeg Sunčeva sustava izvan samog sustava Zemlja — Mjesec, obavila su se sondama bez posade, no to bismo mogli smatrati prilično nevažnim izmotavanjem. Uostalom, istraživanja takvih sondi bila su posve u redu. Karta Marsa danas je bolje poznata nego što je to bila unutrašnjost Afrike prije jednog stoljeća.

Pa ipak ne možemo a da se ne zapitamo: Hoće li ljudska bića ikad stupiti nogom na svjetove dalje od Mjeseca?

U vezi s tim, moramo se prisjetiti pitanja udaljenosti. Mars je idući logičan cilj poslije Mjeseca, jer su Venera i Merkur prevrući i preblizu Suncu da bi im vrijedilo prilaziti prije nego Marsu. Međutim, putovanje do Marsa i natrag (ili do Venere ili Merkura, uostalom) sigurno bi trajalo više od godinu dana, a to bi doista bilo strahopoštovanja vrijedan zadatak.

Slanje instrumenata kojima nisu potrebni sistemi za održavanje života, pod uvjetima u kojima krivi potez što završava uništenjem instrumenata donosi razočaranje ali nije tragičan, već je dovoljno skupo, a neuspjesi kakvi su zadesili *Mars 1* i *Mars 2* nisu beznačajna ekonomska opterećenja. Dodajte tome, međutim, potrebu da se osigura sve što je potrebno za održavanje života godinu ili više dana, uz odgovarajuću sigurnosnu marginu za nepredviđene okolnosti i uzimanje u obzir svih mogućnosti neuspjeha, i troškovi (kao i emocionalni ulog) zastrašujuće će se umnožiti.

Uz to, možda bi bilo suviše teško podnijeti psihološki stres koji bi se javio kad bi nekoliko ljudskih bića bilo smješteno u samotno boravište uz osiromašen način života tijekom mnogih mjeseci, zajedno sa spoznajom da nije moguć nikakav spas krene li što loše. Razmišljamo li o tome, rekli bismo da se smanjuju mogućnosti slanja ljudi na Mars.

Raspravljamo li optimistički, mogli bismo istaći da su se prvi veliki pomorski putnici — fenički, vikinški, polinezijski i portugalski — svi odvažno upuštali u ogroman otvoreni prostor u skučenim prebivalištima tijekom mnogih mjeseci, a za to su se vrijeme mogli suočiti s uništenjem u svakoj oluji bez nade u spas. Pa ipak su uspjeli. Ako su astronauti jednako tako dobri kao i pomorci, čeka nas sretan uspjeh.

Mogli bismo također reći da bi astronauti, prelazeći bezdan prostora prema Marsu, mogli održavati radijsku ili televizijsku vezu s domom za vrijeme velikog dijela putova-

nja te stoga ne bi imali zastrašujući osjećaj osamljenosti kakav su morali imati prvi pomorci.

Protiv svega toga stoji činjenica da su pomorci mogli, kao što se često i događalo, naići neočekivano na kopno tijekom svojih putovanja. Imali su mogućnost da se zaustave i naprave predah, da tako kažemo, da uzmu svježu vodu i druge zalihe, da sretnu ljudska bića. Astronauti ne mogu računati ni na što od toga.

Ja bih rekao da astronauti, polazeći sa Zemlje, mogu i da će doprijeti do Marsa i uspješno se vratiti, odupirući se hrabro samotnosti dugoga putovanja, bude li neka zemlja, ili možda međunarodni konzorcij, spremna podmiriti troškove. Bilo bi to, međutim, *tour de force* i ne bi se dugo, dugo ponovilo. (Iza prvog oplovljavanja Zemlje što su ga izveli preživjeli iz Magellanove ekspedicije, drugi pokušaj slijedio je tek poslije šezdeset godina.)

To je, naime, tako, ako se ograničimo na astronaute koji polaze *sa Zemlje.*

Već sam bio spomenuo mogućnosti razvitka Zemljina obližnjeg svemira — to jest, prostora između Zemlje i Mjeseca. Ako se to učini — bude li obližnji dio svemira zaposjednut gradnjom električnih centrala, opservatorija, laboratorija i tvornica — tada nije vjerojatno da će zadatak obaviti ljudi koji moraju putovati sa Zemlje.

Čini se logičnim pretpostaviti da će graditelji ostajati u svemiru kroz dulja razdoblja — osobito bude li se većina građevnog materijala morala dobavljati s Mjeseca. Dobivanje rudače zahtijevat će rudarske baze na Mjesecu, a reklo bi se da bi bilo razložno proces dorađivanja — proizvodnju metala, kisika, betona, tla, trave — organizirati u svemiru.

Godine 1974. američki je fizičar Gerald K. O'Neil (1927—) objavio svoju zamisao o tome kako bi bilo tehnološki podobno sagraditi u svemiru velika naselja u kojima bi se moglo smjestiti deset tisuća ili više ljudi; kako bi ta naselja mogla biti tako konstruirana da imaju okoliš sličan Zemljinu, pri čemu bi sunčeva svjetlost imala uobičajeni ritam dan-noć; kako bi centrifugalno djelovanje na unutrašnju površinu rotirajućeg naselja moglo zamijeniti gravitaciju na vanjskoj površini Zemlje; i kako bi takva naselja mogla iskorištavati Sunce kao izvor obilnih zaliha energije.

Otada se problem takvih svemirskih naselja opširno proučava. Kako je istaknuto, bez obzira na skupoću prvih ne-

koliko naselja, sami naseljenici mogli bi preuzeti na se zadatak gradnje kasnijih naselja od materijala i energije dobavljenih izvan Zemlje (najvećim dijelom), a koristi koje bi Zemlja imala od toga vrlo bi brzo vratile s ogromnim kamatima sva zamisliva početna ulaganja.

Uz to, sadašnja bi tehnologija dostajala za otpočinjanje tog projekta. Očekivani napredak tehnologije omogućio bi da se naselja sagrade brže, jeftinije i pomnije, nema dvojbe, no dostajala bi i današnja tehnologija.

U sadašnjem trenutku, na putu takvu razvitku stoje ekonomski činitelji (zabrinutost zbog troškova), politički činitelji (želja da se novac umjesto toga protroši na naoružanje) i psihološki činitelji (nepovjerenje drugih naroda i nevjerovanje u korisnost svemira) — ali *ne* tehnološki činitelji.

Optimistički pogled u budućnost negovijestio bi da će uskoro sama nužnost širenja čovjekova horizonta dovesti do gradnje svemirskih naselja. Ta bi gradnja također poslužila kao veliki projekt koji ne samo što bi nedvojbeno bio od velike dobrobiti, već bi mogao potaknuti suradnju ljudi u nečemu dovoljno velikom da užegne srce i um te da ljudi zaborave ništavne svađe koje su ih zaokupljale tisućama godina u retovima zbog beznačajnih komadićaka zemaljskog teritorija.

Bude li se to zbilo, tada će se problem dugih putovanja na druge planete potpuno preobraziti. Ljudska bića koja su proživjela svoje živote u svemirskim naseljima, koja su se možda i rodila tamo, imala bi sigurno potpuno drukčiji stav prema svemirskim letovima od ljudi koji su proživjeli život na Zemlji.

Ponajprije, dok je za Zemljane svemirski let nešto egzotično i neobično, za svemirske naseljenike to bi bilo nešto obično i svakodnevno. Naseljenici bi redovito radili u svemiru, trgovali svemirom, neprekidno bi bili svjesni svemira. Dok svemir za Zemljane može biti stran okoliš, naseljenicima bi on bio dom.

Drugo, dok svemirski brod pruža Zemljanima krajnje tuđ okoliš, taj bi isti okoliš naseljenicima bio poput doma. Naseljenici bi već živjeli *unutar* jednog svijeta, bili bi naviknuti na sagrađeni, umjetni okoliš i na zatvoreni ciklus. Svemirski bi brod bio manji od naselja, ali pripadao bi istoj vrsti.

Treće, dok su Zemljani naviknuti na stalnu i prilično veliku gravitaciju, naseljenici bi bili naviknuti na pseudogravi-

taciju (centrifugalni efekt) koja bi se mijenjala ovisno o položaju unutar naselja, a također i na staje bez gravitacije koje bi pratilo svaki rad što se odvija u orbiti sa slobodnim padom. Gravitacijske anomilaje koje prate svemirski let daleko bi manje djelovale na naseljenike, psihološki i fiziološki, nego što djeluju na Zemljane.

Četvrto, jedna od najvećih teškoća svemirskih letova sa Zemljine površine jest potreba da se nadvlada snaga Zemljina gravitacijskog polja. Kod svemirskih naselja, snaga Zemljina privlačenja bila bi znatno manja te bi svemirski let iz naselja bio lakši i daleko bi smanjio troškove energije. To bi pak značilo da bi bilo izvedivo graditi mnogo veće i kompliciranije svemirske brodove, a i to bi smanjilo napetosti dugih svemirskih letova.

Shodno tome, moglo bi se pretpostaviti da će naseljenici, a ne sami Zemljani biti predvodnicima kad dođe vrijeme da ljudska bića krenu prema planetima te da čovjekov horizont doživi novu veliku ekspanziju. Naseljenici će biti Feničani, Vikinzi, Polinežani i Portugalci dvadeset i prvoga stoljeća.

Prvi bi cilj, kao što rekoh, sigurno bio Mars, jer je to svijet koji ne bi bio ništa manje pogodan za eksploataciju (izuzevši udaljenost) od Mjeseca. Zapravo, Mars bi bio ugodniji. Njegove niske temperature ne bi bile mnogo gore od temperatura lunarne noći, a danju bi bio pošteđen najgore solarne radijacije. Njegova je površinska gravitacija veća od Mjesečeve (0,4 g prema 0,17 g), a uz to ima barem rijetku atmosferu, kao i neke volatilne elemente koji nedostaju Mjesecu.

Dvojbeno je, možda, hoće li doseljenici stvarno živjeti na Marsu, kao uostalom i na Mjesecu. Vjerojatno će sagraditi naselja u orbiti oko Marsa i živjeti tamo, a sam bi Mars upotrebljavali kao rudničko područje.

Manje je vjerojatno da će naseljenici krenuti u drugom smjeru, prema Suncu. Reklo bi se da je Venera potpuno beskoristan svijet u smislu čovjekova razvitka — nemoguće vruća cijelo vrijeme i s neupotrebljivo gustom atmosferom.

Merkur je manje negostoljubiv. Ona njegova strana koju prekriva noć ne bi predstavljala nesavladivu teškoću za naseljenike naučene na Mjesečevu i Marsovu noć, ali svaki bi prodor na tu noćnu stranu bio, naravno, privremen. Izlazak sunca postavio bi granicu svakom poslu koji se obavlja na površini. Možda bi se, međutim, prvi boravak na noćnoj strani mogao iskoristiti za ukopavanje dovoljno duboko pod povr-

šinu kako bi se pronašla razmjerno hladna razina gdje bi se mogla preživjeti površinska vrućina tijekom razdoblja dana od 1.400 sati. No i to se čini dvojbenim čak i u najboljem slučaju.

Povremeno se također raspravlja o »pozemljavanju« planeta — to jest, o takvu njihovu mijenjanju da postanu udobnije za ljudska bića. Ako se to i ne bi moglo provesti u takvom opsegu da bi planeti doista bili prikladni za život, moglo bi poslužiti tome da oni postanu upotrebljiviji kao baza za prirodna bogatstva.

Svi su izgledi, međutim, da će početni smjer čovjekova istraživanja i širenja čovjekova horizonta voditi od Sunca, a ne prema njemu. U smjeru dalje od Sunca ima mnogo više mjesta nego ide li se prema Suncu, a uz to je lakše zagrijati se u hladnoj okolici nego rashladiti se u vrućoj.

Mars bi, primjerice, bio samo usputna stanica prema onome što leži dalje iza njega. Iza Marsa postoji asteroidni pojas s mnogo sićušnih svjetova — možda 100.000 svjetova s promjerom većim od jednog kilometra.

Oni bi mogli biti bogat izvor rudača svih vrsta. Ukupna masa asteroida mnogo je manja od ukupne mase Mjeseca, no samo je površinski sloj Mjeseca moguće eksploatirati, jer su gotovo sve rudače (kao i na Zemlji) isuviše duboko da bi se do njih moglo lako doprijeti. Osim na najvećim asteroidima (Ceres ima promjer 1.000 kilometara, a postoji i nekoliko tuceta asteroida kojih promjeri premašuju 100 kilometara), sav materijal na asteroidima je tako blizu površine da je pristupačan iskorištavanju. K tome, asteroidi, prilično smo sigurni u to, sadrže volatilne materijale kojih nema na Mjesecu.

Možda će, dakle, doći vrijeme kad će asteroidi predstavljati velike rudnike čovječanstva. I ne samo to, nego će se i naselja graditi u asteroidnom pojasu gdje postoji materijal za tu svrhu i gdje će sunčevo zračenje biti dovoljno jako da posluži kao koristan izvor energije.

Asteroidni pojas pruža volumen svemira možda milijardu puta veći od volumena lunarne orbite te se može lako zamisliti kako bi broj naselja što ga on može primiti bio ogroman. Nije teško uvidjeti kako će možda doći vrijeme kad će ogromna većina pripadnika ljudske vrste živjeti u asteroidnom pojasu.

Asteroidni pojas je granica unutrašnjeg Sunčeva sustava. Iza njega, u smjeru suprotnom od Sunca, nalaze se ogromni dosezi vanjskoga Sunčeva sustava. U vanjskom Sunčevu sustavu svjetovi su rjeđe razasuti, ali su i veći.

Tamo je divovski Jupiter koji sadrži tri petine ukupne mase Sunčeva sustava, ako samo Sunce isključimo iz razmatranja. Iza njega leže Saturn, Uran i Neptun, svi znatno manji od Jupitera, ali znatno veći od Zemlje. Jupiter ima četiri satelita koji su otprilike jednako veliki kao i Mjesec ili veći: Io, Evropa, Ganimed i Kalisto. Saturn i Neptun imaju svaki po jedan veliki satelit — Saturnov je Titan, a Neptunov Triton.

Postoje uz to i manji sateliti. Jupiter i Saturn imaju ih svaki oko tucet. Uran ih ima najmanje pet (no nijedan doista velik), a Neptun ima jedan za kojeg znamo. K tome, u vanjskom Sunčevu sustavu postoje mala tijela koja nisu povezana sa četiri divovska planeta, a mi znamo za tri od njih: Haron, Pluton i Hiron.

Udaljenosti u području divovskih planeta zasjenjuju udaljenosti u unutrašnjem Sunčevu sustavu. Jupiter i njegov sustav satelita leže na krajnjem vanjskom rubu asteroidnog pojasa, no Saturn leži 650,000.000 kilometara iza Jupiterove orbite, a to je 11,5 puta više od udaljenosti između Marsa i Zemlje kad se jedno drugom nalaze najbliže. Uran se nalazi 2.100,000.000 kilometara iza Jupiterove orbite, Neptun 3.700,000.000 kilometara iza nje, a Pluton 5.100,000.000 kilometara, u prosjeku. Udaljenost između Jupitera i Plutona šest je puta veća od ukupnog promjera unutrašnjeg Sunčeva sustava.

Pa ipak, raketne sonde prodrle su iza asteroidnog pojasa, i učinile su to uspješno.

Drugoga svibnja 1972. lansiran je *Pioneer 10*, napustivši Zemlju početnom brzinom od 14,5 kilometara u sekundi, najvećom brzinom koju je do tada postigla neka čovjekova izrađevina.

Pioneer 10 prošao je uspješno kroz asteroidni pojas, gdje je otkrio manje čestica no što su astronomi očekivali u tom području, a zatim je, 3. prosinca 1973, stigao u blizinu Jupitera. Prošao je samo 135.000 kilometara od Jupiterove površine.

Pokazalo se da je Jupiterovo magnetsko polje oko četrdeset puta snažnije od Zemljinoga i osjećalo se na udaljenosti 7,000.000 kilometara od planeta.

Iza *Pioneera 10* slijedio je *Pioneer 11* lansiran 5. travnja 1973, koji je prošao na 42.000 kilometara od Jupitera 2. prosinca 1974. godine. *Pioneer 11* bio je tako usmjeren da prođe iznad Jupiterovih polarnih područja.

Prema podacima koje su poslale te sonde, činilo bi se da je Jupiter u biti ogromna kugla vodika, plinovitog na samome vanjskom rubu, tekućeg ispod i u metalnome krutom obliku u jezgri. Postoji i primjesa helija, pri čemu je omjer vodik-helij oko 5 prema jedan, uz male količine težih elemenata. U samom središtu mogla bi postojati mala kamenita jezgra.

Planet je vruć. Na 1.000 kilometara ispod vidljive površine temperatura je već 3.600°C (6.400°F), a u središtu Jupitera mogla bi iznositi oko 54.000°C (97.000°F).

Pioneeri nisu pobliže osmotrili Jupiterove satelite, ali to je ispravljeno drugim parom Jupiterovih sondi, *Voyagerom 1* lansiranim 5. rujna 1977. i *Voyagerom 2* lansiranim 20. kolovoza 1977. godine. Iako je *Voyager 2* lansiran prije, on je putovao sporije pa je stigao kasnije. *Voyager 1* prošao je pokraj Jupitera 5. ožujka 1979, a *Voyager 2* 9. srpnja 1979.

Voyager 1 otkrio je oko Jupitera prsten sastavljen od krutih čestica, u biti poput onoga oko Saturna, no mnogo rjeđi i manji, tako da je Jupiterov prsten posve nevidljiv sa Zemlje. Prsten se vjerojatno sastoji od malih čestica, no postoje dva ili tri veća objekta povezana s njim, ili odmah izvan njega, dovoljno velika da ih se smatra samostalnim satelitima i bliže Jupiteru od svih koje su otkrili instrumenti smješteni na Zemlji. Oni možda služe za to da zadrže čestice unutar granica prstena.

Voyager 1 fotografirao je sva četiri Jupiterova satelita. Redom kako se povećava njihova udaljenost od planeta, to su Io, Evropa, Ganimed i Kalisto. Među njima je najmanji, Evropa, tek nešto manji od našeg Mjeseca, Io je gotovo točno jednake veličine kao i Mjesec, a Ganimed i Kalisto oba su znatno veća od Mjeseca, promjeri su im čak veći od promjera Merkura.

Otkriveno je da je Kalisto gusto prekriven kraterima, svaki dio njegove površine dio je nekog kratera. Postoje dvije

strukture nalik na metu, gdje se dva osobito velika kratera razlijevaju stvarajući koncentrične krugove materijala.

Ganimed, bliže Jupiteru od Kalista, shodno tome je i jače izložen Jupiterovu plimnom djelovanju. Djelovanje plime i oseke može biti izvorom topline pa je moguće da Ganimed zadržava unutrašnju toplinu dulje od Kalista. Kao posljedica toga, na Ganimedu je još bilo geološke aktivnosti poslije prve faze nastanka kratera. Kora se gibala i mijenjala, pa iako Ganimed ima područja kraterskih formacija kao i Kalisto, postoje i predjeli unutrašnje površine satelita gdje je teren očito mlađi te je izbrazdan prije no posut kraterima.

Evropa, još bliža Jupiteru, još je toplija — dovoljno topla da otopi vodu koja je dio njezine vanjske strukture. (Ganimed i Kalisto bogati su vodom skroz naskroz i imaju niske gustoće koje to pokazuju, ali sva je voda u obliku leda.)

Svijet-ocean koji prekriva Evropu je, međutim, smrznut na površini, tako da satelit leži pod nečim što djeluje kao ploča morskog leda koja opasuje čitav globus. Površina Evrope je stoga izvanredno glatka. Svi eventualni meteori koji su možda udarili o površinu vjerojatno su se probili kroz led i pljusnuli u vodu ispod njega. Ponovno smrzavanje izbrisalo bi svaki trag tog sraza. (Postoje ipak tragovi triju kratera, gdje se oko mjesta udara skupio led, a još nije bilo dovoljno vremena za proces izglađivanja.)

Još je jedna neobična stvar na Evropi da je površina prekrivena pravilnim crnim šarama koje bi mogle biti pukotine u ledenom pokrivaču. One su zapanjujuće slične šarama koje su astronomi svojedobno vjerovali da postoje na Marsu i tumačili ih kao kanale.

Io, najunutrašnjiji od velikih satelita, normalno je i pod najvećim utjecajem Jupiterova plimnog djelovanja. Tri dana prije nego što je *Voyager 1* prošao pokraj Jupitera, u jednom članku u časopisu *Science* predskazalo se da bi se, kao posljedica toga, na satelitu mogli otkriti aktivni vulkani. Pretpostavka je bila točna. *Voyager 1* otkrio je na Iu ništa manje od osam vulkana u aktivnoj erupciji, a kad je četiri mjeseca kasnije prošao *Voyager 2*, šest od njih još je eruptiralo. Io je jedini svijet, osim Zemlje, na kojem su zapaženi aktivni vulkani.

Io ima gustoću sličnu Mjesečevoj i u biti je kamena kugla. Njegova unutrašnja toplina rastjerala je vodu i druge volatilne materijale. Poput drugih velikih Jupiterovih sate-

lita, ni on nema atmosfere, osim tragova izmaglice plina. U Iovu slučaju, ti su tragovi uglavnom od sumpornog dioksida koji nastaje od vulkanskih erupcija što bacaju prašinu i pepeo na površinu bez zraka. Najveći dio erupcije sastoji se od sumporne pare koja se smrzava pa je tako Io prekriven crveno-žutom površinom sumporaste lave što ispunjava svaki krater koji bi nastao. Neki se krateri mogu otkriti, pošto su nastali nedavno te još nisu posve ispunjeni.

NAJUDALJENIJI PLANETI

Različite Jupiterove sonde imale su tako određene orbite da ih one odvedu u blizinu Saturna. Na taj su način postale Saturnove sonde. *Pioneer 11* prošao je na 20.200 kilometara od vidljive površine Saturna 1. rujna 1979. godine. Poslao je detaljne fotografije prstenova koje su pokazale da su oni složeniji nego što se moglo razaznati uz pomoć teleskopa na Zemlji.

Tada je, 12. studenoga 1980, pokraj Saturna prošao *Voyager 1*. Tada se vidjela neobična kompleksnost prstenova. Oni su sastavljeni od nečega što djeluje poput tisuću podprstenova. Pokazalo se da čak i »Cassinijeva pukotina« koja je, sa Zemlje, djelovala poput posve prazna prostora što razdvaja dva glavna prstena, sadrži u sebi nekoliko malih podprstenova sačinjenih od čestica. Prstenovi se pružaju dalje prema Saturnu i dalje od njega nego što se moglo vidjeti sa Zemlje. Neki podprstenovi čini se da nisu posve simetrični, a jedan čak kao da je upleten poput pletenice. Kao i u slučaju Jupitera, mali sateliti (najmanje tri) postoje duž rubova prstenova i služe, možda, da bi zadržali čestice unutar prstenova.

Određen je broj satelita fotografiran. Većina je imala kratere, kao što se moglo očekivati. Mimas je imao jedan vrlo veliki krater u odnosu na vlastitu veličinu. Kolizija koja je stvorila taj krater mogla je zamalo uništiti satelit.

Otkriveno je da satelit Dione ima drugi, manji satelit koji dijeli njegovu orbitu, a razdvaja ih 60 stupnjeva. Dione i njegov pratilac označavaju vrhove kutova istostraničnog trokuta kojemu je Saturn na trećem kutu. To se zovu »trojanski položaj« i prvi je otkriveni takav slučaj koji obuhvaća jedan planet i dva satelita. Jupiter, kao sunce, i dvije grupe aste-

roida tvore kutove jednog para susjednih istostraničnih trokuta. Ta je konfiguracija stekla svoje ime zbog toga što su asteroidi dobili imena junaka trojanskog rata. Talijansko-francuski astronom Joseph Louis Lagrange (1736—1813) prvi je pokazao, oko 1790. godine, da je takva jedna konfiguracija gravitacijski stabilna.

Otkrilo se da je satelit Enceladus vrlo glatke površine, poput Jupiterove Evrope, no *Voyager 1* nije ga posve dobro promotrio. Očekuje se da će *Voyager 2* koji (dok ovo pišem treba uskoro stići do Saturna, u tom smislu obaviti bolji posao.

Iapetus je još jedan kuriozitet. Čak je i sa Zemlje zamijećeno da je mnogo svjetliji kad je sa jedne strane Saturna nego kad je s druge. Budući da su astronomi pretpostavljali kako je on uvijek okrenut prema Saturnu jednom stranom, to je značilo da je jedna polutka vidljiva na jednoj strani Saturna, a da je druga polutka vidljiva na drugoj strani Saturna. Zaključak je bio da Iapetus, iz nekog razloga, reflektira mnogo više svjetlosti s jedne nego s druge polutke. *Voyager 1* pokazao je da je to istina te se Iapetus jasno pokazao »dvonijansnim« satelitom. Jedna je njegova polovica vjerojatno prekrivena ledom, a druga je gola stijena — ali zašto?

Pa ipak, najveća vrijednost toga sustava je Titan, Saturnov jedini golemi satelit koji se veličinom nadmeće s Jupiterovim Ganimedom. Čak je i sa Zemlje otkriveno da Titan ima atmosferu — jedini satelit u Sunčevu sustavu za kojeg se zna da ima atmosferu što sadrži više od krajnje rijetkih tragova plina. Štoviše, u njegovoj atmosferi pronađen je jedan određeni plin, metan.

Metan je sastavljen od molekula koje sadrže jedan ugljikov atom i četiri vodikova atoma. To je najjednostavnija organska molekula. Bilo je nagađanja o tome kako na Titanovoj površini možda ima i složenijih molekula iste vrste, tako da bi to mogao biti svijet od benzinskih oceana i asfaltnih kontinenata. Još je dramatičnija bila misao da se život temelji na organskim molekulama te da bi Titan mogao posjedovati neku vrst oblika života. Astronomi su se nadali da bi *Voyager 1* mogao odgovoriti na pitanja s tim u vezi.

Pokazalo se da Titan doista ima atmosferu, i to mnogo gušću nego što se očekivalo — najmanje 1,5 puta gušću od Zemljine. No, velika gustoća ima se pripisati dušiku, plinu

kojeg nije lako otkriti sa Zemlje. Metan je bio prisutan kao glavno onečišćenje. Površina je dovoljno hladna tako da satelit ima jezera tekućeg dušika, možda s metanom u otopini. Oblici života ipak bi mogli postojati, ako je moguće da bi bili u stanju preživjeti temperature tekućeg dušika. Na nesreću, nije bilo načina da se vidi površina, jer Titanova atmosfera posjeduje jednako nepropustivu izmaglicu kao što su Venerini oblaci. Za prodor kroz nju bili su potrebni mikrovalovi.

Do sada (dok ovo pišem), sonde nisu poslale podatke iz prostora iza Saturna, iako bi barem jedan od Vayagera mogao jednoga dana doprijeti u blizinu Urana a još biti operativan. No, u nekoliko posljednjih godina astronomi su uz pomoć instrumenata na Zemlji uspjeli saznati neke nove stvari o vanjskom Sunčevu sustavu.

Desetoga ožujka 1977, američki astronom James L. Elliot, promatrajući kako Uran zamračuje jednu zvijezdu, otkrio je kako je zvijezda nekoliko puta zatreperila po određenom obrascu dok se približavala Uranu, a zatim je treperila po točno obratnom obrascu nakon što je napustila Uran. Najbolje tumačenje toga jest da je Uran okružen određenim brojem tankih prstenova sastavljenih od čestica.

Tako postoje tri planeta okružena prstenovima — Jupiter, Saturn i Uran — pa sad ne bi bilo ni najmanje iznenađujuće kad bi se pokazalo da i daleki Neptun ima prstenove. Kružeće čestice mogu biti jednako prirodna pratnja velikih planeta kao i obitelji satelita. Prema tome, ono što *jest* neobično nije to da Saturn ima prstenove, već da ima tako ogromnu i sjajnu skupinu prstenova.

Američki je astronom Charles Kowall 1. studenog 1977. otkrio jedan asteroid kojega orbita leži između Saturnove i Uranove. Nazvao ga je Hiron. To možda najavljuje postojanje čitave obitelji asteroida u vanjskom Sunčevu sustavu. Ono što nazivamo »asteroidnim pojasom« možda je samo najbliži, pa prema tome i najlakše otkriven od nekoliko takvih pojasova.

Čak je i Pluton čuvao otkrivenje. Taj najudaljeniji planet otkrio je 1930. godine američki astronom Clyde William Tombaugh (1906—). Prvobitno se smatralo da je to tijelo znatnije veličine, masivno poput Zemlje (iako nipošto div kao vanjski planeti). No što ga se više proučavalo, činilo se kako

ima sve više razloga da ga se smatra manjim tijelom. Njegova masa kao da se smanjivala sa svakom procjenom.

Pluton ima eliptičniju orbitu od svih drugih planeta i u perihelu je zapravo bliže Suncu, tijekom razdoblja od dvadeset godina, nego što je to Neptun.* Upravo je sada Neptun blizu perihela i mnogo ga je lakše promatrati sa Zemlje nego što će biti tijekom cijelog dvadeset i prvog i dvadeset drugog stoljeća.

Američki astronom tako je, 22. lipnja 1978, uspio razaznati da Pluton ima satelit gotovo jednako tako velik kao što je i on sam. Nazvao ga je Haron.

Na temelju udaljenost između Plutona i njegova satelita i na temelju razdoblja ravolucije tog satelita bilo je konačno moguće izračunati Plutonovu masu. Pokazalo se da ona iznosi samo 1/8 mase našeg Mjeseca, tako da je Pluton mnogo manji nego što je itko mislio. Plutonov promjer iznosi oko 3.000 kilometara, a Horonov promjer oko 1.200 kilmetara. Ti svjetovi nisu veći od satelita osrednje veličine.

Tako su otkrića posljednjeg desetljeća, uz pomoć sondi ili na drugi način, razjasnila da vanjski Sunčev sustav sadrži mnogo više nego što smo očekivali, i da će stalna istraživanja donijeti mnogo toga zanimljivog.

Jesmo li, međutim, osuđeni na to da ta istraživanja obavljamo uz pomoć sve savršenijih sondi, ili se može zamisliti da će sama ljudska bića jednoga dana prodrijeti do vanjskog Sunčeva sustava?

I opet, ako smatramo da će takva istraživanja započinjati sa Zemlje, to se ne čini vjerojatnim. Svemirskim sondama potrebno je osamnaest mjeseci da prođu od Zemlje do Jupitera, te dodatnih dvadeset mjeseci da stignu do Saturna. Jasno je da bi kružno istraživanje čak i najbližih svjetova vanjskoga Sunčeva sustava potrajalo veći dio jednoga desetljeća.

No, kad jedanput asteroidni pojas postane dio čovjekova posjeda i kad bude uključivao mnoga napučena naselja, problem će postati manje akutan. Neka bi naselja mogla, u određenim vremenima, biti dovoljno blizu Jupitera kako bi se uspjelo putovati na Saturn. Možda postoje asteroidi iza Jupi-

* Kad je Sunčev sustav prikazan na ravnom dijagramu, čini se da se putanje Neptuna i Plutona križaju, no one su zapravo međusobno u kosom položaju i Pluton je u trećoj dimenziji na tim »sjecištima« vrlo daleko od Neptuna.

tera (po ugledu na Hiron), pa ako se baze uspostave tamo, ili na najudaljenijih Saturnovim satelitima, moglo bi se odvažiti na putovanja iza Saturna.

Dakako, nije vjerojatno da će ljudska bića u doglednoj budućnosti pokušati prodrijeti u atmosferu samih četiriju velikih vanjskih satelita. A uz to, najzanimljivijim svjetovima vanjskoga Sunčeva sustava osim samih četiriju divovskih planeta — četirima velikim Jupiterovim satelitima — možda se i ne može prići bez zasad još nepredviđenih tehnoloških napredaka. Ti sateliti kruže unutar Jupiterova magnetskog polja te bi tamošnji intenzitet zračenja bio smrtonosan za posade svemirskih brodova, kakvi se danas konstruiraju.

Pa ipak, najmanje osam malih Jupiterovih satelita kruži oko njega izvan njegova magnetskog polja, te bi se na njih mogli smjestiti opservatoriji za proučavanje Jupitera i unutrašnjih satelita, tako dugo dok ljudska bića ne svladaju tehniku uz pomoć koje bi im prišla bliže.

KOMETI

Čak i ako čitav planetarni sustav napokon bude uključen u čovjekov horizont, ni tada još nismo nužno završili.

Najudaljeniji planetarni objekt što ga znamo je Pluton. U ovom trenutku, kao što već rekoh, Pluton je blizu svojeg perihela i bliži je Suncu od Neptuna. Pluton će se, međutim, potom polako udaljavati tijekom idućeg stoljeća i četvrt, dosežući najudaljeniju točku od Sunca, svoj afel, oko 2114. godine. Tada će biti udaljen od Sunca oko 7.350,000.000 kilometara, ili 1,6 puta više nego što je ikad udaljen Neptun.

No postoji li u Sunčevu sustavu ijedan objekt za kojeg znamo, s orbitom koja ga odvodi dalje od Plutona?

Da! Postoje objekti, mi ih povremeno vidimo, koji imaju tako izdužene orbite da u afelu daleko premašuju Plutonovu udaljenost, iako su u perihelu možda posve blizu Suncu. To su kometi.

Dakako, neke komete koje vidimo zarobilo je gravitacijsko privlačenje planeta (osobito Jupiterovo), tako da su čak i u afelu bliže Suncu od Plutona.

No drugi kometi, koji na jednom kraju svoje orbite leže unutar planetarnog sustava, na drugom će kraju biti udaljeni od Sunca 1,000.000,000.000 ili više kilometara. Možemo

zamisliti da bi instrumenti stavljeni na takaj jedan komet kad je unutar dosega, bili odnijeti daleko u transplutonski prostor te da bi bilježili uvjete u dalekom svemiru milijun godina što bi protekli prije no što bi se komet ponovno vratio u planetarni sustav — pod uvjetom, naravno, da instrumenti izdrže, bilježe i prenose poruke tijekom takvog jednog razdoblja i, što se toga tiče, da sama ljudska vrsta potraje.

Naravno, mnogi kometi možda nikad ne uđu u planetarni sustav već, tijekom svih 4.600,000.000 godina povijesti Sunčeva sustava, kruže oko Sunca neviđeni i još nevidljivi na svojim ogromnim daljinama.

Astronomi vjeruju da postoji možda čak 100.000,000.000 kometa koje se okreću u tim vrlo dalekim orbitama koje ni u jednoj točki ne prilaze Suncu bliže od bilijun kilometara.

Oni poduzetni kometi koji nas posjećuju ovdje u unutrašnjem Sunčevu sustavu, stižu zato što su njihove orbite poremetili međusobni sudari, ili gravitacijski utjecaji zvijezda u blizini Sunca. To se događa rijetko, a za vrijeme čitave duge povijesti Sunčeva sustava, daleki kometni oblak izgubi najviše jednu šestinu svoga prvobitnog sadržaja.

Kometi koji stižu do unutrašnjeg Sunčeva sustava postaju spektakularan prizor, kad toplina Sunca zagrije njihovu smrznutu strukturu oslobađajući izmaglicu pare i prašine koju zatim rastežu u dugi rep solarni vjetrovi — struja brzih, električno nabijenih subatomskih čestica koje se neprekidno izbacuju sa Sunca u svim smjerovima. Djelovanje topline i solarnog vjetra razjeda komet, izvlači njegove volatilne komponente te ostavlja ostatak koji ne mora biti tipičan za njegov originalni sastav. Pa ipak je taj originalni sastav možda najmanje promijenjeni ostatak ogromne nebule prašine i plina od koje je formiran Sunčev sustav. Možda bi, prema tome, vrijedilo proučavati daleke komete i steći neki uvid u početke Sunčeva sustava.

No, to ne znači da bismo se morali upuštati bilijune kilometara iza Plutona kako bismo to učinili. Lako je moguće da postoje kometi koji ulaze u planetarni sustav, ali kojih orbite imaju perihele smještene daleko iza Saturnove orbite. Oni se ne bi nikad vidjeli sa Zemlje, no mogli bi se locirati i proučavati ako bismo istraživali vanjski Sunčev sustav. Takvi kometi, smješteni u najboljem slučaju daleko od Sun-

ca, ne zagrijavaju se osjetnije te bi dalje imali u biti isti sastav kakav su imali u vrijeme svoga nastanka.

Lako bi se moglo dogoditi da ljudi zaključe kako nema koristi upuštati se bilijune kilometara iza Plutona, samo zato da bi pronašli više primjeraka istih onakvih kometa kakve mogu pronaći u području vanjskih planeta.

Ako, prema tome, iza Plutona trajno nema ničega osim ogromnog broja kometa, pravilo »Upoznaj jednoga i upoznao si ih sve!« moglo bi spriječiti čovječanstvo da se upusti dalje, a Pluton bi mogao zauvijek označiti krajnju granicu čovjekova horizonta.

12

Zvijezde

UDALJENOST ZVIJEZDA

Čovjekov horizont ograničen na Sunčev sustav bio bi, međutim, doista ograničavajući, jer iza Plutona mnogo toga postoji, pa čak i iza kometa. Izvan Sunčeva sustava proteže se silan univerzum zvijezda.

Čovječanstvo već posiže za tim zvijezdama. *Pioneer 10*, prva Jupiterova sonda, počeo je izlaziti posve iz planetarnog sustava. Dok se piše ova knjiga, on je u susjedstvu Uranove orbite. Za još tri godine prolazit će pokraj Neptunove orbite i odlazit će u beskonačnost.

Na *Pioneeru 10*, dok odlazi u nepoznato, nalazit će se poruka sa Zemlje utisnuta bakrorezom u pozlaćenu aluminijsku ploču veličine 15×22 centimetra. Poruku su kreirali Carl Sagan i Frank D. Drake (1930—), a nacrtala ju je Linda Sagan.

Najzamjetljivija stvar na poruci je skicirana figura muškarca i žene, neodjevenih, s diskretno naznačenim razlikama spola, čime se daju određene minimalne informacije o vrsti stvorenja koja su sagradila *Pioneer 10* i poslala ga na put. Muškarac ima podignutu ruku na način koji će, nadamo se, biti shvaćen kao gesta prijateljstva i mira. Ako ne, barem će pokazati postojanje četiri prsta i jednog palca.

Iza muškarca i žene nalazi se skica *Pioneera 10* u mjerilu. Ako inteligentna bića jednoga dana pronađu *Pioneer 10* i izmjere njegove dimenzije, saznat će i veličinu ljudskih bića.

U dnu pločice nalaze se kružnice koje predstavljaju Sunce i njegovih devet planeta s nekim indikacijama o njihovim relativnim veličinama te o prstenovima oko Saturna, zajedno s linijom koja označava put *Pioneera 10* između planeta. To bi trebalo biti dovoljno za identifikaciju Sunčeva sustava kao mjesta podrijetla sonde.

Uključeni su i drugi simboli koji izražavaju lokaciju Sunca u galaksiji te pružaju pojam o našem znanstvenom napretku.

Pioneer 11 koji će također napustiti Sunčev sustav, nosi duplikat pločice.

Kad je riječ o sondama Voyager, one se ne obraćaju samo vidu, već i sluhu. Osim što nose fotografije reprezentativnih prizora sa Zemlje, one nose i snimke reprezentativnih zvukova.

Vrlo je malo vjerojatno da će neka inteligentna bića ikad pronaći te male, lutajuće poruke u beskraju svemira — a ako do takva pronalaska ikad i dođe, to će gotovo sigurno biti tek za milijune godina. Pa ipak, čini se tipičnim za čovječanstvo da želi oglasiti svoje postojanje i postignuća, za svaki slučaj, i možda je taj ponos zapravo vrijedan divljenja i opravdan.

Ali zašto bi ljudi željeli slati poruke dalje izvan Sunčeva sustava? Što je tamo vani?

Sama pomisao da tamo vani uopće nešto postoji razmjerno je suvremena. Tijekom antičkih i srednjovjekovnih vremena, smatralo se zapravo da su zvijezde blistave iskre obješene o tamnu, krutu atmosferu neba što se okreće oko Zemlje, ne baš mnogo kilometara iznad vrhova viših planina. Nebo je bilo Zemljina čvrsta granica, tek dodatak, a ne čitav svemir.

Čak i nakon što je Cassini 1672. godine odredio razmjere Sunčeva sustava te kad se shvatilo da je Saturn (tada najudaljeniji poznati planet) udaljen od Sunca nekih 1.400,000.000 kilometara, a da zvijezde moraju biti još dalje, to nije popravilo stvar. Još je bilo moguće zamišljati da su zvijezde naslikane na krutom nebu koje nije bilo jako daleko iza Saturna. Nebo je postalo granicom Sunčeva sustava, no još nije bilo svemir.

Jedna osoba koja je imala suprotno stajalište živjela je više od dva stoljeća prije Cassinija. Bio je to njemački učenjak Nicholas od Cuse (1400—64) koji je, u knjizi objavljenoj 1440. godine, ustrajao u tome kako je svemir beskonačan

i kako su zvijezde sunca razasuta po tom beskrajnom prostoru u beskrajnim brojevima. Ta su druga sunca, tvrdio je, sva okružena planetarnim sustavima, pa su stoga postojali beskonačni brojevi naseljenih svjetova.

Nicholas od Cuse nije imao dokaza za ta stajališta, no pridržavao ih se na temelju neke unutrašnje intuicije, osjećajući da imaju smisla. Ta su se stajališta u ono vrijeme morala činiti ekscentričnima i sigurno su im se mnogi učenjaci popustljivo smiješili. No, čini se da to nije naškodilo Nicholasovoj karijeri, jer je 1448. godine proglašen kardinalom te je živio i umro u miru.

Njegova je stajališta prihvatio stoljeće i pol kasnije talijanski učenjak Giordano Bruno (1548—1600), no do tada se već zbila protestantska Reformacija. Povrh toga, Kopernik je objavio svoju knjigu smjestivši Sunce u središte planetarnog sustava, i katolička je crkva osjećala da se bori za opstanak protiv i znanstvenih i religijskih pobuna. Za ono što se činilo ekscentričnim mišljenjima bilo je manje tolerancije i Bruno je spaljen na lomači.

No, u Brunovo vrijeme postojali su barem negativni dokazi u korist velike udaljenosti zvijezda.

Kad je Kopernik objavio svoju teoriju, bilo je mišljenja da bi astronomi, kad bi se Zemlja doista gibala prostorom i okretala oko Sunca, zapažali zvijezde na potpuno različitim područjima svemira, ovisno o tome je li Zemlja na jednom ili drugom kraju svoje orbite. Ta bi promjena položaja stvarala kod zvijezda »paralaksu« (ako je bio ispravan navod Nicholasa od Cuse). Činilo bi se da bliže zvijezde mijenjaju svoj prividan položaj na nebu u odnosu na one koje su udaljenije, kako se Zemlja giba svojom orbitom.

Bio je to dobar razlog i dostajao je, sam za se, da pokaže kako su ili Kopernik ili Nicholas od Cuse imali krivo (ili, uostalom, obojica), ako ne bi bilo nekog načina da se objasni odsutnost paralakse.

Taj je način postojao. Kopernik ga je shvatio i upotrijebio. On je istakao da se paralaksa smanjuje s udaljenošću te da su sigurno zvijezde toliko udaljene od Zemlje da je čitava promjena položaja, čak i kad je riječ o najbližim zvijezdama, dok se naš planet giba svojom orbitom, posve beznačajna. Ukratko, paralaksa među zvijezdama postoji, ali zahvaljujući njihovim velikim udaljenostima, ona je daleko premala da bi se zamijetila.

Ta je ideja tradicionalistima bila gotovo jednako smiješna kao i gibanje Zemlje oko Sunca, no kako je Kopernikova teorija postajala sve upotrebljivijom, zaključak izveden iz nje da su zvijezde vrlo daleko činio se sve prihvatljivijim.

Engleski astronom Edmund Halley (1656—1742) vratio se idejama Nicholasa iz Cuse oko 1718. godine, u nakani da izradi prvu znanstvenu procjenu udaljenosti zvijezda. Možda su zvijezde doista sunca i možda njihovu beznačajnu svjetlost u usporedbi s našim Suncem valja pripisati isključivo njihovim ogromnim udaljenostima. Razmotrimo Sirius, najsjajniju zvijezdu na nebu. Možda je on doista tijelo potpuno slično Suncu veličinom i sjajnošću. Kako bi daleko morao biti da bi sjajio samo svojom prividnom svjetlošću na nebu, svjetlošću jedne malešne zvijezde?

Halley je procijenio da je Siriusova udaljenost od Zemlje, u tom slučaju, 125.000 puta veća od udaljenosti između Sunca i Zemlje. Uzmemo li suvremenu procjenu udaljenosti Sunca od Zemlje (a ne nešto nižu vrijednost dostupnu Halleyu), to bi značilo da je Sirius udaljen od nas 19,000.000,000.000 (ili $1{,}9 \times 10^{13}$) kilometara.

To je ogromna udaljenost — 19 bilijuna kilometara — i nije je lako pojmiti. Jedan dramatičan način da je izrazimo jest uz pomoć brzine svjetlosti.

Prvo upotrebljivo određenje brzine svjetlosti dao je 1676. godine danski astronom Olaus Rømer (1644—1710). On se za tu svrhu poslužio načinom na koji pomrčine Jupiterovih satelita zaostaju dok se Zemlja udaljava od Jupitera (oboje pri kretanju u svojim orbitama) te se pojavljuju brže kad se Zemlja približava. Veličina koju je dobio iznosila je samo tri četvrtine danas prihvaćene veličine, no to je za prvi pokušaj bilo sjajno. Brzina svjetlosti, kako je danas prihvaćeno, iznosi 299.792,5 kilometara u sekundi.

To je, prema zemaljskim standardima, ogromna brzina. Svjetlost koja tom brzinom putuje vakuumom vanjskog svemira prijeći će za godinu dana 9,460.563.614.000 (ili $9{,}6 \times 10^{12}$) kilometara, i ta se udaljenost zove »svjetlosna godina«.

Neki se pojam o veličini svjetlosne godine može steći ako kažemo da promjer orbite Plutona, najudaljenijeg planeta, iznosi nešto malo više od jedne tisućinke svjetlosne godine.

Pa ipak, prema Halleyjevoj procjeni, Sirius se nalazio samo oko dvije svjetlosne godin udaljen od nas.

Naravno, Halleyjeva procjena temeljila se na postavci da je Sirius jednako sjajan kao i Sunce, što ne mora biti tako, pa ju je valjalo uzeti vrlo oprezno. Da bi se dobile pouzdanije procjene udaljenosti, morala bi se izmjeriti stvarna paralaksa zvijezda, no ona je bila premala da bi se mogla izračunati uz pomoć teleskopa dostupnih u Halleyjevo vrijeme.

Taj pothvat nije završen sve do 1838, kad je njemački astronom Friedrich Wilhelm Bessel (1784—1846) objavio da je determinirao paralaksu blijede zvijezde 61 Cygni. Ubrzo poslije toga škotski je astronom Thomas Henderson (1798—1844) determinirao paralaksu blistave zvijezde Alfa Centauri, a njemačko-ruski astronom Friedrich von Struve (1793—1864) paralaksu blistave zvijezde Vega.

Pokazalo se da nam je Alfa Centauri (zapravo sustav sastavljen od tri zvijezde) bliže od ijedne druge zvijezde na nebu, no i uz to je njezina udaljenost 4,3 svjetlosne godine. Zvijezda 61 Cygni udaljena je 11,2 svjetlosne godine, a Vega 27 svjetlosnih godina. Sirius je, kako se pokazalo, oko 23 puta blistaviji od Sunca pa bi stoga morao biti mnogo udaljeniji no što je Halley mislio, da bi bio tako blijed kao što jest. Sirius je udaljen od nas 8,16 svjetlosnih godina.

Pretpostavimo sad da smo usavršili svoje mogućnosti svemirskog leta do razine koja nam omogućuje putovanje Sunčevim sustavom bez prevelikih teškoća, nakon što smo naučili svladavati putovanja duga do 9,000.000.000 kilometara za nekoliko godina, u velikim, udobnim svemirskim linijskim brodovima. Takva udaljenost, međutim, čini samo 1/4.500 udaljenosti do Alfe Centauri, najbliže zvijezde. Ako bismo Neptunovu orbitu od kraja do kraja mogli prijeći za dvije godine, ista prosječna brzina ne bi nam omogućila ni da stignemo do najbliže zvijezde za manje od 9.000 godina.

Na našem su nebu vidljive mnoge zvijezde koje su udaljene stotine svjetlosnih godina, a čak su i one naši susjedi. Sunce i sve zvijezde na nebu koje su nam vidljive bez teleskopa dio su ogromne strukture slične oblikom zupčaniku koja se zove »galaksija«, a njezin promjer iznosi 100.000 svjetlosnih godina. Postoje i druge galaksije, svaka s milijardama i bilijunima zvijezda, udaljene milijune svjetlosnih godina, pa čak i milijarde svjetlosnih godina.

Čini se beskorisnim razgovarati o tim silno udaljenim zvijezdama kad su i najbliže od njih, reklo bi se, izvan dosega, no ipak ti daleki objekti zadržavaju silnu privlačnost.

Posljednjih su godina astronomi saznali mnogo toga o svemiru što prije nisu znali, zahvaljujući radioteleskopima i satelitima koji mogu uhvatiti radijaciju, kao što su rendgenske zrake, što je naša atmosfera apsorbira pa ju je nemoguće proučavati s površine Zemlje.

Poznati su nam objekti kao što su kvazari, pulsari, crne rupe i eksplodirajuće galaksije, za koje nitko nije čuo prije četvrt stoljeća, i mnogi bi ljudi silno voljeli saznati nešto više o njima. Prići takvim objektima suviše blizu bilo bi u najvećem stupnju pogibeljno, naravno, no mogli bismo im se približiti *malo više* od svoje sadašnje lokacije a da nam to ne naškodi.

Pa zatim, imaju li i druge zvijezde planetarne sustave? Postoje li planeti dovoljno slični Zemlji da omoguće naseljavanje — ili da održavaju vlastiti život? U svojem Sunčevu sustavu nismo pronašli život, osim na Zemlji, a možda ga nećemo naći ni u budućnosti, no naš je Sunčev sustav samo jedan od možda nebrojenih bilijuna, pa zašto negdje drugdje ne bi bilo života? Inteligencije također, čak i civilizacija!

No iako možda izgaramo od znatiželje, te su ogromne udaljenosti tu da bi nas obeshrabrile.

Prva pomisao koja čovjeku pruža nade jest da bi se udaljenosti mogle smanjivati s napretkom tehnologije. Magellanovu jedinom preživjelom brodu trebalo je gotovo točno tri godine da oplovi svijet. Astronautima je trebalo tri dana da stignu od Zemlje do Mjeseca, a ta je udaljenost oko 9,5 puta veća od opsega Zemlje. Prosječna brzina prvih astronauta bila je prema tome oko 3.500 puta veća od prosječne brzine ljudi koji su prvi oplovili Zemlju. Zar se ne bi moglo dogoditi da, s napretkom tehnologije, povećamo brzinu naših međuzvjezdanih svemirskih letjelica 3.500 puta u odnosu na brzine što se postižu u programu Apollo?

Dosezanje do Mjeseca za tri dana znači da prosječna brzina napredovanja prema Mjesecu iznosi 1,5 kilometara u sekundi. Povećajte to 3.500 puta, i možemo sebe zamisliti kako putujemo prosječnom brzinom od 5.250 kilometara u

sekundi. Pri takvoj bi brzini još uvijek potrajalo oko 250 godina da bi se stiglo do najbliže zvijezde, Alfe Centauri.

No dobro, povećajmo brzinu još jednim faktorom 3.500, i kretat ćemo se nešto brže od 18,000.000 kilometara u sekundi. Tada će nam trebati samo četiri tjedna da stignemo do zvijezde Alfa Centauri.

Nažalost, to se ne može učiniti tako lako kao što se može napisati. Godine 1905, njemačko-švicarski fizičar Albert Einstein (1879—1955) iznio je svoju specijalnu teoriju relativiteta, prema kojoj je nemoguće da išta putuje brzinom većom od brzine svjetlosti u vakuumu. Specijalna je teorija provjerena bezbroj puta za osam desetljeća otkako je iznijeta, na bezbroj načina, učinilo je to bezbroj ljudi, i pokazala se točnom i nepogrešivom. Nijedan fizičar ne očekuje da će doživjeti nadmašivanje brzine svjetlosti.

Ako je tome tako, to znači da će najveća brzina kojom će ikad putovati neki svemirski brod iznositi 299.792,5 kilometara u sekundi, a pri toj bi brzini trebalo 4,3 godine da se stigne do najbliže zvijezde, 30.000 godina da se stigne do središta naše galaksije, 300.000 godina da se ona čitava obiđe, 2,300.000 godina da se dosegne galaksija Andromeda, 1,000.000.000 godina da se dopre do najbližeg kvazara, 10,000.000.000 do najudaljenijeg kvazara što smo ga otkrili i možda 40,000.000.000 da se obiđe svemir.

Ukratko, brzina svjetlosti, nezamislivo velika prema zemaljskim standardima, nemoguće je sporo puzanje u odnosu na svemir kao cjelinu, a mi smo osuđeni da upravo tako sporo pužemo, ili još sporije. Sve osim nekoliko susjednih zvijezda doista je izvan našeg domašaja, makar bili spremni čitav život provesti putujući.

No možemo li biti sigurni? Neki ljudi koji zapravo ne shvaćaju fiziku osjećaju kako ćemo nekako pronaći načina da »probijemo svjetlosnu barijeru«, upotrijebimo li samo dovoljno raketne energije.

To, nažalost, nije tako. Akceleracija povećava energiju gibanja, ili »kinetičku energiju«, ali u tu su energiju uključena dva činitelja: brzina i masa. Pri malim brzinama, gotovo čitavo povećanje energije pretvara se u brzinu, tako da objekt ide sve brže i brže, dok masa dobiva samo nezamjetnu količinu. No kako se brzina povećava, sve manje i manje dodatnog povećanja kinetičke energije odlazi na brzinu, a sve više i više u masu. S približavanjem brzini svjet-

losti, gotovo cijelo povećanje kinetičke energije odlazi u masu, tako da masa postaje sve veća i veća dok se brzina gotovo ne mijenja. Povećanje snage raketnog motora, ako se to nastavi činiti krajnje uporno, samo će sve više i više povećavati masu prema beskonačnosti, a da to nikad neće dovoljno djelovati na brzinu kako bi ona probila svjetlosnu barijeru.

Možda će vas zapanjiti da to nije nešto što se samo pretpostavlja za svemir, već svemir takav jest!

Dakako, specijalna teorija relativiteta vrijedi za objekte koje poznajemo. Objekti s masom, kao što smo mi ili naši svemirski brodovi, mogu putovati svakom brzinom (u teoriji) od nule do brzine svjetlosti. Objekti bez mase, kao što su svjetlosni valovi, mogu putovati vakuumom *samo* brzinom svjetlosti, ni brže ni sporije.

No što je s objektima koji imaju takvu masu koja se izražava nečim što matematičari nazivaju »imaginarnim brojevima«? Ako se takvi brojevi stave u Einsteinove jednadžbe, činilo bi se da se svaki objekt koji posjeduje takvu masu mora uvijek kretati *brže* od brzine svjetlosti. On se može kretati svakom brzinom od brzine svjetlosti do beskrajne brzine, ali nikad *sporije* od brzine svjetlosti.

Postojanje takvih čestica bržih od svjetlosti prvi su nagovijestili 1962. godine fizičari O. M. P. Bilanuk, V. K. Deshpande i E. C. G. Sundarshan. Nekoliko godina kasnije, američki je fizičar Gerald Feinberg (1933—) skovao riječ »tahion« (prema grčkoj riječi za »brz«) za te čestice.

Pretpostavimo, dakle, da se svaka obična čestica pretvori u odgovarajući tahion. Tahioni bi odmah odjurili nevjerojatnom brzinom, pa ako bi se ti tahioni u određeno vrijeme opet pretvorili u obične čestice, za nekoliko dana, čak sekundi, mogle bi se prijeći ogromne udaljenosti.

Na nesreću, nitko još dosad nije otkrio tahione, a mnogi fizičari tvrde da oni ne mogu postojati ni teoretski. Kad bi mogli postojati, primjena »tahioničkog pogona« — pretvaranje običnih čestica u tahione, kontrola tahioničkog leta i ponovno pretvaranje tahiona u obične čestice — predstavljala bi poteškoće ogromne veličine. Ne možemo se pouzdati u to da će se te poteškoće moći prevladati u predvidivoj budućnosti.

Drugi način promatranja svjetlosne barijere jest pretpostavka da ona vrijedi samo za uvjete koje smo mogli istra-

žiti i testirati. Pod uvjetima daleko izvan svega što smo u stanju testirati, ta granica možda se pomiče.

Postoje, primjerice, crne rupe u kojima se tvar sabija do takvih ekstrema da se intenziteti gustoće i gravitacije približavaju beskrajnosti. Bi li specijalna teorija vrijedila u takvim uvjetima?

Neki astronomi doista su pretpostavili da se objekti koji prolaze proz neku crnu rupu mogu za vrlo kratko vrijeme pojaviti na nekome vrlo udaljenom dijelu svemira. U tom bismo slučaju svaku crnu rupu mogli smatrati terminalom neke određene »linije kozmičke podzemne željeznice«. Ako bismo na karti označili svaku crnu rupu i odredili gdje se pojavljuje njezin drugi kraj, mogli bismo putovati s jednoga mjesta u svemiru na drugo odabirući odgovarajuće crne rupe, a na svjetlosnu bismo barijeru bili ograničeni samo putujući od izlaza iz jedne crne rupe do ulaza u drugu.

No, svi fizičari nisu saglasni s takvim poimanjem crnih rupa. A čak ako crne rupe doista i jesu kozmičke podzemne željeznice, njihovo pronalaženje, izrada karata, otkrivanje onih koje su dovoljno blizu jedna drugoj za praktične svrhe i (iznad svega) razrada načina da se uđe u njih a da se ne bude raznesen zbog djelovanja snaga plimnih valova, značilo bi jednako tako ogromne teškoće kao i one u vezi s tahioničkim pogonom.

I opet, u predskazivoj budućnosti ne možemo sa sigurnošću predvidjeti upotrebu crnih rupa za međuzvjezdana putovanja.

Možda ćemo se, prema tome, jednostavno morati pomiriti s postojanjem i nepovredivošću svjetlosne barijere.

ISPOD SVJETLOSNE BARIJERE

Svjetlosna barijera, na određeni način, i nije tako neugodna kao što zvuči. Specijalna teorija jasno govora da se osjećaj prolaženja vremena usporava s povećanjem brzine. U početku je to usporavajuće djelovanje nezamjetljivo malo, no s približavanjem brzini svjetlosti to djelovanje postaje sve izraženije sve dok, pri brzini svjetlosti, doživljena brzina prelaženja vremena ne padne na nulu.

Drugim riječima, ako bi svemirski putnici mogli napredovati brzinom svjetlosti, oni ne bi imali nikakav osjećaj pro-

laženja vremena, ma kako daleko putovali. Mogli bi putovati od Zemlje do najudaljenijeg kvazara, 10,000.000.000 kilometara daleko, i činilo bi im se da se sve to zbilo u trenutku.

U tom slučaju, zašto bismo se mučili prolaženjem kroz crne rupe ili pretvaranjem brodova i posade u tahione? Zašto ne bismo brod i posadu jednostavno pretvorili u svjetlosne valove — u takav obrazac svjetlosnih valova koji bi u svojoj kompleksnosti zadržao svaku pojedinost broda i posade? Let bi se tada usmjerio u željenom pravcu, a svjetlosni valovi ponovno bi se potom pretvorili u brod i posadu. Ma kakvo bilo odredište, do njega bi se stiglo u vremenu nula.

No, takva jedna procedura zadaje jednako kompleksne i, po svemu sudeći, jednako nesavladive teškoće kao i one u vezi s tahionima i crnim rupama. To u predskazivoj budućnosti nipošto nije u našoj moći.

Postoji li neki način da se postigne brzina svjetlosti (ili gotovo takva brzina) bez stvarnoga pretvaranja čestica u svjetlosne valove?

Što je s običnom akceleracijom? Neki brod ne možemo ubrzati do brzine veće od brzine svjetlosti, no možemo ga ubrzati (u teoriji) do svake brzine ispod te granice.

Akceleracija, naravno, ne može biti prenagla, jer bi to članove posade smrskalo o stražnji dio plovila. Pretpostavimo stoga da ubrzanje iznosi 1 g (normalna akceleracija povezana sa Zemljinim površinskim gravitacijskim poljem). To bismo mogli podnositi neograničeno a da se pri tome osjećamo posve ugodno. Osjećali bismo se zapravo kao da stojimo na Zemlji i da smo izloženi njezinoj površinskoj gravitaciji.

Pri ubrzanju od 1 g, svake sekunde putujemo 0,0098 kilometara u sekundi brže nego prethodne sekunde. Ako bi se to nastavljalo beskrajno*, potrajalo bi oko godinu dana da se uznapreduje od nule do brzine svjetlosti, a do tada bi brod prešao udaljenost od pol svjetlosne godine.

Na toj bi se točki brod mogao prestati ubrzavati i samo bi klizio. Brod bi mogao beskrajno dugo ploviti vakuumom bez usporavanja ili krivudanja, ako ne bi bilo u blizini zvi-

* Zapravo se ne bi nastavljalo, jer dok bi brod putovao sve brže i brže, sve više i više snage ubrzanja odlazilo bi u masu, a sve manje i manje u brzinu. No ovdje ćemo stvar pojednostaviti, radi izvođenja dokaza.

jezda koje bi imale znatan gravitacijski utjecaj na nj. (Ako bi ih bilo, to bi se moglo uzeti u obzir.)

Za vrijeme te plovidbe brzinom vrlo blizom brzini svjetlosti, vrlo bi se neznatno osjećalo prolaženje vremena — nekoliko minuta, nekoliko dana, nekoliko tjedana, ovisno o tome koliko se brzina broda približila brzini svjetlosti te kako se velika udaljenost prelazi. Kad bi se zatim brod našao na pol svjetlosne godine od odredišta, počelo bi smanjivanje ubrzanja za po 1 g koje bi trajalo godinu dana.

Tako bi se činilo da nijedan međuzvjezdani let ne traje više od dvije godine. Uzme li se još jedna godina za istraživanja, povratno putovanje do Alfe Centauri potrajalo bi oko pet godina, a povratno putovanje do neke zvijezde u galaksiji Andromeda trajalo bi također pet godina.

Rekli bismo da je to stanje povoljno, osim što postoje neke zapreke.

Ponajprije, kad neki svemirski brod plovi brzinom svjetlosti ili blizu nje, samo se posadi na brodu čini kao da se usporava osjećaj prolaženja vremena. Svi na Zemlji (ili bilo gdje drugdje u svemiru gdje se gibanje odvija običnim brzinama) osjećaju normalno prolaženje vremena.

Tako bi povratno putovanje do Alfe Centauri moglo za astronaute trajati pet godina, no kad bi se vratili na Zemlju, otkrili bi da je prošlo jedanaest godina. To ih možda i ne bi toliko zabrinulo, no ako bi putovali do galaksije Andromeda i natrag, otkrili bi da je na Zemlji prošlo 4,600.000 godina te možda uopće ne bi bilo ljudskih bića da ih pozdrave. Kad bi, za pet godina, otputovali do najudaljenijeg kvazara i natrag, na Zemlji bi prošlo 20,000.000.000 godina, a Sunce bi bilo slabašni bijeli patuljak. Zemlja bi do tada vjerojatno bila fizički uništena tijekom Sunčeve faze crvenog diva.

Čak ako astronauti to i shvate te budu spremni istraživati svemir ne misleći da će se ikad vratiti na Zemlju, moramo se dalje zapitati je li doista praktično očekivati ubrzanje gotovo do brzine svjetlosti.

Jednogodišnje ubrzavanje pri 1 g troši ogromne količine goriva, više no što možemo očekivati da će brod biti u stanju ponijeti, osobito kad će, jednoga dana, doći do smanjivanja brzine što će opet trajati godinu dana i trošit će jednako toliko goriva.

Čak i uz upotrebu najdjelotvornijeg mogućeg oblika energije, za jednogodišnje ubrzavanje i jednogodišnje usporavanje

trebalo bi toliko mnogo energije da to dovodi u ozbiljnu sumnju praktičnost nošenja toga goriva.

No, možda brodovi neće voziti uopće nikakvo gorivo, osim malih količina za slučaj nužde. Umjesto toga, brod bi mogao skupljati malešne oblačiće tvari u međuzvjezdanom prostoru i upotrebljavati ih kao gorivo. Za to bi bio potreban nekakav ogroman »usisavač«, jer bi možda bilo nužno skupiti svu količinu tvari s područja od mnogo tisuća kubičnih kilometara na sekundu.

Ali čak kad bi se problem goriva riješio na ovaj ili onaj način (što ne zvuči vjerojatno), ostaju drugi problemi.

Primjerice, kako se brzina sve više i više približava brzini svjetlosti, sve više snage upotrijebljene za ubrzavanje odlazi na povećanje mase svemirskog broda, a sve manje na povećanje brzine. Nastupit će trenutak kad brod, ma kakav bio pogonski mehanizam, više neće moći podnijeti takvo rasipanje kao što je trošenje sve više energije za pretvaranje u sve manje i manje povećanje brzine.

Pretpostavimo, primjerice, da prijelom nastupi u trenutku kad je postignuto 90 posto brzine svjetlosti. To se čini posve dobrim — ali zapravo nije. Kod 90 posto brzine svjetlosti, posada broda osjeća prolaženje vremena po stopi od 31 posto normalnoga prolaženja. To znači da bi putovanje do središta naše galaksije, na primjer, trajalo do 10.000 godina, a putovanje do galaksije Andromeda 800.000 godina.

Ako brod nije u stanju doseći i tih preostalih deset posto brzine svjetlosti te smanjiti osjećaj prolaženja vremena na doista malu stopu normalnog prolaženja, istraživanje unutar normalnoga čovjekova životnog vijeka bit će ograničeno na zvijezde iz našeg neposrednog susjedstva, one unutar nekoliko stotina svjetlosnih godina.

No čak ni to možda ne bi bilo najgore. Međuzvjezdani prostor nije potpuno prazan, i što brže brod putuje, manje će biti u stanju izbjeći sudare. Krajnje je nevjerojatno da bi brod udario o neku zvijezdu, jer su one raspoređene doista vrlo narijetko. Brod bi se mogao nasumce kretati vrlo brzo i vjerojatno za milijune godina ne bi pogodio neko doista veliko tijelo.

Broj malih tijela u svemiru — letećih planina, većega kamenja i šljunka — mora biti mnogo veći od broja zvijezda, planeta i satelita. Sudari s bilo kojim od tih manjih ti-

jela, makar i veličine kamičaka, pri brzinama vrlo blizima brzini svjetlosti, bili bi katastrofalni.

Čak kad u međuzvjezdanom prostoru ne bi bilo nikakvih krhotina, ili kad bi brod uspio izbjeći sve postojeće krhotine, ni to ne bi bilo dovoljno. Znamo da međuzvjezdani prostor sadrži čestice prašine, kao i pojedinačne molekule i atome. Zapravo možemo i vidjeti oblake prašine sa svoga povišena položaja na Zemlji te otkriti u njima neke atome i molekule. Čak i prostor koji je inače čist sadrži mala raspršenja vodikovih atoma. Najčišći se prostor nalazi vjerojatno između galaksija; procjenjuje se da se tamo nalazi jedan vodikov atom u svakom kubičnom metru. U međuzvjezdanom prostoru unutar galaksija postoje gušća raspršenja vodikovih atoma.

Vodikovi su atomi značajni. Ako se brod kreće brzinom približnom brzini svjetlosti, i pogodi jedan vodikov atom, to je isto kao kad bi vodikov atom koji se giba približno brzinom svjetlosti pogodio brod. Takav jureći vodikov atom je kozmička zraka.

Kad bi se u svakom kubičnom metru nalazio samo jedan vodikov atom, svemirski brod koji putuje približno brzinom svjetlosti bio bi u svakoj sekundi izložen nečemu što se približava milijardama milijardi čestica kozmičkih zraka. Brod bi ubrzo postao radioaktivan i svi bi u njemu bili sprženi.

Da bi se izbjegla opasnost od radijacije, možda bi bilo nužno putovati brzinom ne većom od jedne desetine brzine svjetlosti, možda čak i manjom u područjima koja su ispunjena većim količinama čestica. Pri takvoj brzini subjektivni je osjećaj prolaženja vremena gotovo normalan te bi trebalo četrdeset godina da se stigne i do najbliže zvijezde.

DUGE PLOVIDBE

Činilo bi se, prema tome, da ljudska bića, osim ako ne dođe do nekog znatnog tehnološkog napretka kakav je sada potpuno nepredviđen, možda nikad neće biti u stanju putovati brzinom većom od relativno malog dijela brzine svjetlosti. A to pak znači da ljudska bića možda nikad neće moći izvesti povratna putovanja čak ni do najbliže zvijezde u normalnome životnom vijeku.

Postoji li, međutim, neki način da se normalni životni vijek beskrajno produži? Što ako bi se ljudska bića mogla brzo zamrznuti do stanja zimskoga sna? Ona tada, mogli bismo se ponadati, ne bi bila mrtva, već jednostavno u stanju u kojem je metabolizam privremeno obustavljen. Ako bi ih se tako moglo držati beskonačno dugo, pri temperaturama tekućeg dušika, kad bi se stiglo do nekog odredišta, nekako bi ih se moglo naglo ugrijati i vratiti u život, i oni bi tada nastavili bez ikakva osjećaja da je vrijeme prolazilo dok su bili u stanju zimskoga sna.

Nažalost, zamrznuti svaki dio velikoga, toplog objekta kakav je ljudsko biće tako brzo da se izbjegnu degenerativne promjene koje bi bile fatalne, bilo bi doista velik pothvat. jednako bi tako bilo teško urediti da se svaki dio velikog, vrlo hladnog tijela tako brzo posvema zagrije da bi se spriječile degenerativne promjene koje bi mogle biti fatalne.

Takvo zamrzavanje-odmrzavanje nije dakle nešto što bismo mogli ostvariti u predvidivoj budućnosti, iako se to ne čini tako dalekim kao tahioni, crne rupe ili pretvaranje ljudskih bića u svjetlosne valove.

No pretpostavimo da se životni vijek ljudskih bića uvelike produži, tako da bi ona mogla poduzimati dugačka putovanja bez potrebe za zamrzavanjem. I doista, kad bi ljudska bića postigla zamalo besmrtnost, možda bi za njih bilo nužno poduzimanje dugih putovanja, jer bi se uskoro Sunčev sustav počeo rasprskavati na rubovima od svoje populacije koja bi naglo rasla.

Ni za znatno produžen životni vijek ne postoji velika vjerojatnost, iako je to možda manje nevjerojatno od uspješne primjene zamrzavanja.

Čini se dakle razložnim zaključiti da će se putovanja u međuzvjezdani prostor, bude li do njih dolazilo, morati odvijati pri razmjerno malim brzinama, bez zamrzavanja i sa članovima posade koji imaju normalan životni vijek. To opet znači da će međuzvjezdani istraživači morati planirati provođenje čitavog života u svemirskom brodu te rađanje djece koja će opet provoditi čitav život na brodu i tako dalje, možda kroz mnoge generacije.

To bi na prvi pogled moglo zvučati kao strašno stanje koje ljudi vjerojatno ne bi mogli podnijeti — no mi razmišljamo o Zemljanima danas, naviklima na osobite uvjete na Zemlji.

A ako uzmemo u obzir brojna svemirska naselja koja bi jednoga dana mogla ispuniti asteroidni pojas i vanjske regije Sunčeva sustava? Svako bi svemirsko naselje samo bilo »zvjezdani brod«. Dobivajući, možda, pogon i energiju od kontrolirane vodikove fuzije, takva bi naselja mogla, ako bi to željela, okončati naše prisilno praćenje Sunca na njegovoj orbiti oko galaktičkog središta što traje četvrt milijarde godina. Svako bi se moglo osloboditi i poći vlastitim putem, krećući se svemirom po volji.

Tada ne bi bilo velikog osjećaja osame ili zatočenja, jer bi posadu činili ljudi iz naselja, koji su rođeni tamo i koji su tamo proveli čitav život, čiji su roditelji i djedovi možda tamo živjeli i čija djeca tamo odrastaju. Oni bi napustili kontakte s drugim naseljima; sa svojim legendarnim svijetom predaka, Zemljom; čak i sa samim Suncem — no to se može učiniti. Za to je i prije bilo primjera. Tijekom cijele povijesti, različiti su Zemljani napuštali pradjedovske postojbine da bi se trajno naselili negdje drugdje. (To su učinili i moji roditelji.)

Ljudima naselja bilo bi zapralo lakše, jer oni ne bi napuštali dom, oni bi svoj dom uzimali sa sobom.

U tom slučaju ne bi trebao postojati ni problem u vezi s gorivom. Budući da naseljenici ne bi pokušavali postići ogromne brzine, već bi se zadovoljili plovidbom pri brzinama ne većim od nekoliko desetaka ili stotina kilometara u sekundi, bilo bi potrebno malo goriva. Probijajući se kroz kometni oblak na rubu Sunčeva planetarnog sustava, oni bi mogli pokupiti kakav mali komet ili dva te ih uzeti sa sobom. Svaki bi komet bio izvor smrznutih volatilnih tvari — vodika, kisika, ugljika, dušika — koje bi služile za nadoknađivanje neizbježnih gubitaka na brodu te kao gorivo za energanu s vodikovom fuzijom.

Zapravo, svemir možda i nije tako prazan kao što mislimo pa možda ne bi prošlo ni jedno desetljeće bez mogućnosti da se razgleda kakav asteroidalni objekt. Povremeno bi se mogla pojaviti kakva riznica nevolatilnih tvari koji bi zvjezdanome brodu pružila mogućnost da popuni svoje zalihe metala i keramike.

Jednoga dana — vrlo dalekoga »jednog dana«, možda nakon mnogo generacija — zvjezdani brod mogao bi se približiti kakvoj zvijezdi. To ne bi morao biti slučaj. Nedvojbeno, astronomi na brodu proučavali bi sve zvijezde unutar ra-

zumne udaljenosti, odabirući onu koja bi pokazivala veliku vjerojatnost da sadrži nastanjive svjetove, i zvjezdani bi se brod mogao uputiti prema njoj.

Možda bi se tada ukazala mogućnost spuštanja, mogućnost za podulje »protezanje nogu«, za kompletnu rekonstrukciju zvjezdanoga broda ili gradnju novoga, posve od početka, prema usavršenim nacrtima. Zvjezdani bi brod potom mogao krenuti dalje s nešto ljudi, dok bi drugi možda ostali na planetu.

Oni koji bi ostali mogli bi, kroz mnoge generacije, osjećati radost ekspanzije i rasta, a na kraju bi mogli sagraditi zvjezdane brodove koji bi se uputili u svemir iz nove jezgre.

Bilo bi vjerojatno mnogo brodova koji bi napustili Sunčev sustav — i svaki drugi kolonizirani planet. Svaki bi planetarni sustav bio poput maślačka što je udario u sjeme, odašiljući u svim smjerovima nove klice života. Različiti zvjezdani brodovi, poslije duge odvojenosti, razvili bi kulturne i biološke varijacije koje bi stvorile beskrajno bogatstvo iskustva i kulture, a čak možda i novu ljudsku vrstu — bujnu raznolikost svega što se možda ne bi moglo ponoviti na jednome jedinom svijetu ili u jednome jedinom planetarnom sustavu.

Različite kulture možda bi imale šansu uzajamna djelovanja kad bi se srele staze dvaju zvjezdanih brodova.

Otkrivši jedan drugoga na velikoj udaljenosti, približavanje bi za oba zvjezdana broda moglo biti vrijeme velikog uzbuđenja. Svaki bi od njih, uostalom, bio kompilirao vlastite zapise koje bi tada stavio na raspolaganje drugome. Opisivali bi jedan drugome područja svemira koja drugi nikad nije posjetio. Izlagale bi se nove teorije i druga tumačenja starih. Razmjenjivali bi se literatura, glazba i djela likovnih umjetnosti, istraživale razlike među običajima.

Nijedan zvjezdani brod ne bi imao vremena, čak ni za milijune godina, istražiti više od samo beznačajnog fragmenta ogromnoga kozmičkog prostranstva, no kako bi svaki brod ostavljao potomstvo na ponekim planetima, koje bi opet stvaralo mnoge nove zvjezdane brodove, svi bi oni zajedno krčili put kroz nastanjive dijelove galaksije, a možda bi čak prodrli i do obližnjih galaksija.

U tom procesu, lako bi se moglo dogoditi da bi ljudska bića, prije ili kasnije, naišla na rasprostrijetu sferu zvjezdanih brodova što su ih pokrenule neljudske civilizacije, neke

i starije i naprednije od naše — od kojih bismo utoliko više mogli naučiti.

Tipično je za nas na sadašnjem primitivnom stupnju povijesti da o takvim kontaktima sa tuđinima razmišljamo u kategorijama rata i sukoba, no svemir je dovoljno velik te ima mjesta za sve, a uz to je moguće barem to da će se znatiželja pokazati jačom silom od sumnjičavosti. Možda će čak inteligencija snažno utjecati na želju za povezivanjem, tako da će biti shvaćeno »srodstvo inteligencija«, a razlike u fizičkom obličju te inteligencije odbacit će se kao beznačajne.

No, koja bi to uopće osnovna snaga pokrenula zvjezdane brodove na proboj iz Sunčeva planetarnog sustava? (Ili iz *bilo kojeg* planetarnog sustava?)

Mogli bismo, uznosito, govoriti o znatiželji, o čežnji za pustolovinom i o želji da se upoznaju čudesni predjeli — no dužina putovanja i vrijeme koje bi proteklo prije susreta s nečim značajnim bili bi takvi da generacije što su započele putovanje sigurno ne bi vidjele uopće ništa zanimljiva ili neobična ili uzbudljiva. Zašto bi onda uopće i napuštali poznate predjele Sunčeva sustava?

Razlozi bi mogli biti izvanredno snažni.

Svako će svemirsko naselje imati vlastitu ekološku ravnotežu koja će nedvojbeno biti mnogo jednostavnija od one na Zemlji. Svemirski naseljenici na svakom malom svijetu nedvojbeno će pokušavati iskorijeniti korov, štetočine i uzročnike bolesti onoliko koliko je to u skladu s raznolikom i korisnom ekologijom koja bezgranično može održavati vlastitu ravnotežu. Moglo bi se dogoditi da svako pojedino svemirsko naselje ima ponešto različit ekosistem.

U tom slučaju, kako će se odvijati trgovina? Kako će ljudska bića iz različitih naselja raditi zajedno na projektima u svemiru? Ovdje na Zemlji danas imamo propise koji zabranjuju uvoz bilja i životinja iz jedne zemlje u drugu — karantenske propise kojima se sprečava širenje štetočina i bolesti. Koliko će se samo strože morati provoditi takvi propisi u svemirskim naseljima!

Neki će se naseljenici možda pomiriti s neizbježnim infekcijama pa mogu odlučiti da se, na kraju, razvije jedinstveni »svemirski ekosistem«, s manjim razlikama od naselja do naselja. No čak i ljudi koji se pomire s tim možda ne bi željeli unositi parazite i bolesti sa same Zemlje, s njezinim opsežnim i nepodatnim ekosistemom.

Neka bi se naselja stoga mogla povući u biološku izolaciju. Oni bi mogli tvrditi kako bi bilo bolje smanjiti trgovinu i suradnju, radije nego izložiti opasnosti zagađivanja ono što smatraju idealnim ekosistemom svojega malog svijeta.

I na kraju, u potraži za vrhunskom karantenom, mogli bi napustili Sunčev sustav, odvodeći sebe i svoje bilje i životinje u čistoću dalekog svemira, gdje ništa osim polaganih sila evolucije (ili bržeg djelovanja promišljenoga genetičkog inženjerstva) ne bi moglo promijeniti ravnotežu koju su oni uspostavili.

Možda će *to* biti motivacijom za rasijavanje potomstva po svemiru — ne znatiželja ili čežnja za uzbuđenjem i pustolovinama, već strah od drugih svjetova i užasavanje nad polucijom.

A to bi moglo omogućiti ljudskim bićima (i srodnim inteligencijama, ako postoje) da šire svoj horizont tako dugo, bude li dovoljno vremena, dok se njegove granice ne poistovjete s granicama svemira.

II dio

Horizonti vremena

13

Starost povijesti

KALENDAR

Dosad sam u ovoj knjizi opisao kako su ljudska bića proširivala horizonte prostora, malo po malo, do granica svemira. A što je s nečim jednako tako fundamentalnim kao i prostor i što se također neprekidno mjeri — s vremenom?

Moguće je da jedino ljudska bića, od svih živućih vrsta, ne žive posvema u sadašnjosti. Možda se jedino ljudska bića mogu s prihvatljivim pojedinostima sjećati prošlosti, odnositi se prema njoj s pomnjom i, na temelju iskustva o pravilnosti stanovitih promjena, naučiti predviđati budućnost s prihvatljivim pojedinostima.

Naravno, teško je otkriti kako su točno ljudska bića razvila osjećaj za vrijeme. To je vjerojatno počelo zapažanjem izmjenjivanja svjetlosti i tmine. Od te su primitivne jedinice vremena, »dana«, razvijena i ušla u upotrebu dulja i kraća razdoblja.

Sam dan ustanovljen je kao rezultat jedne periodične astronomske pojave, beskrajnog hoda Sunca po nebu. To je zapravo posljedica Zemljine rotacije, no tek poslije Kopernikova vremena u petnaestom stoljeću Zemljinu se rotaciju počelo općenito prihvaćati kao činjenicu te je shvaćeno kako je svakodnevno kretanje Sunca nebom zapravo iluzija.

Zbog nagnutosti Zemljine osi, Sunce se također polako uspinje na nebu iz dana u dan, potom se spušta, zatim opet uzdiže i tako dalje, tijekom razdoblja mnogo dužeg od dana. O tome prividnom uzdizanju i spuštanju Sunca ovise godiš-

nja doba, a život na Zemlji pulsira s tim godišnjim dobima. U različitim područjima Zemlje postoji smjena vlažnih i sušnih doba, ili toplih i hladnih godišnjih doba. Biljni svijet raste, umire i ponovno se rađa, dok se životinjski svijet seli, odlazi i vraća se. Ljudska bića postadoše svjesna svega toga.

Stoga su, mnogo prije početka povijesti, morale biti razrađene jedinice vremena dulje od dana.

Poslije Sunca, najzamjetljiviji objekt na nebu je Mjesec, a on doživljava periodičnu promjenu, gotovo jednako primjetljivu kao dan i noć, u obliku svojih promjenljivih faza. Od tankoga polumjeseca neposredno poslije zalaska Sunca (»mlađak«), on se povećava i udaljava od Sunca da bi, na zalasku Sunca, postao punim Mjesecom; zatim se smanjuje i približava Suncu da bi, neposredno prije izlaska Sunca, postao tanak, jedva vidljiv polumjesec. Ubrzo nakon toga, na nebu se neposredno iza zalaska Sunca pojavljuje novi mlađak. Te faze nastaju kao rezultata Mjesečeva okretanja oko Zemlje.

Cijeli se taj ciklus završava za 29,53 dana, i za one koji su prvi razradili to razdoblje to je značilo da interval između mlađaka iznosi nekad dvadeset i devet dana, a nekad trideset dana. Taj je interval bio »mjesec«, i lunarni su se kalendari tisućama godina temeljili na tom mjesecu. Religijski kalendar Židova i muslimana i danas je po prirodi lunaran.

Tjedan je umjetna jedinica. Možda se njime htjelo označiti dolazak glavnih Mjesečevih faza: mlađaka, prve četvrti, punog Mjeseca i posljednje četvrti. Razmak između njih iznosi 7,38 dana. Da bi bio striktno lunaran, tjedan bi nekad morao trajati sedam, a nekad osam dana. Stanovnici doline Eufrata i Tigrisa koji su bili najnapredniji astronomi u prvim danima civilizacije, vjerojatno su, međutim, bili pod utjecajem Sunca, Mjeseca, Merkura, Venere, Marsa, Jupitera i Saturna, sedam nebeskih tijela lako vidljivih golim okom koja su se gibala na složen način u odnosu na nepromjenljivu pozadinu zvijezda. Zamisao o nepromjenljivome sedmodnevnom tjednu nastala je tako što su Suncu, Mjesecu i planetima iskazivane božanske počasti te je svaki od njih dobio po jedan dan. To je prenijeto Židovima, zatim kršćanima, i još je u nas prisutno. Ta je jedinica vrlo neprikladna te se ne uklapa točno ni u mjesec ni u godinu.

Ciklus godišnjih doba lakše je odrediti brojenjem mjeseci nego brojenjem dana. Iako godišnja doba nisu matema-

tički pravilna, kao što su to dan, tjedan i mjesec, ona su najbitniji ciklus, bila ljudska bića skupljači hrane, lovci ili ratari. Ljudska su bića jednoga dana dokučila iskustvom da ciklus godišnjih doba, ili »godina«, koji je označavao razdoblje revolucije Zemlje oko Sunca, traje nešto malo više od dvanaest lunarnih mjeseci.

Jedna godina zapravo traje 12,37 lunarnih mjeseci pa su Babilonci razradili obrazac godina, ponekad dugih dvanaest a ponekad trinaest mjeseci, obrazac koji se ponavljao svakih devetnaest godina. To su prihvatili Grci i Židovi (a i danas se upotrebljava u židovskom religijskom kalendaru).

Egipćani su imali jednostavniji ciklus godišnjih doba koji je ovisio gotovo potpuno o jednome godišnjem događaju — poplavi Nila — što se javljao u prosjeku svakih 365 dana. Oni su stoga smjestili u jednu godinu 365 dana i podijelili to na dvanaest mjeseca s po trideset dana, iza čega je slijedilo pet dana svetkovina. Mjeseci nisu odgovarali Mjesečevim fazama, no Egipćanim to nije bilo važno. To je bio prvi solarni kalendar.

Rimljani su prihvatili egipatski kalendar 44. godine prije n.e. i, uz pomoć grčkoga astronoma Sosigena, dotjerali ga dodavši jedan prijestupni dan. Budući da je jedna godina bila duga zapravo 365 dana i četvrt, svaka je četvrta godina dobila 366 dana.

Zapravo, godina ne traje točno ni 365 dana i četvrt, već 365,2422 dana — malenkost manje. To znači da tri puta u svaka četiri stoljeća, ona godina koja bi trebala biti prijestupna zapravo to ne bi smjela biti. Tu je nužnost prvi istakao engleski znanstvenik Roger Bacon (1220—92), ali u svako je doba vrlo teško mijenjati kalendar. Ta je promjena uspješno provedena tek dekretom pape Grgura XIII (1501—85) godine 1582, a čak i tada ga je u početku prihvatila samo katolička Evropa. Pa ipak, novi se »gregorijanski kalendar« širio i danas je prihvaćen posvuda u svijetu.

Prihvaćena vremenska razdoblja dulja od godine dana ne postoje, osim onih koja su umnošci godina. Jedno »desetljeće« je deset godina, jedno »stoljeće« sto godina, a jedan »milenij« je tisuću godina. Ti su izrazi izvedeni prvobitno iz latinskih riječi za »deset«, »sto« i »tisuću«.

Manje se upotrebljava »lustar« za razdoblje od pet godina. Izraz je izveden od latinske riječi za »prati« ili »čistiti se«, jer su Rimljani u kasnijoj svojoj povijesti imali popis

stanovništva svakih pet godina poslije kojega su se ljudi ritualno pročišćavali, kao da je to neki novi početak. Rimljani su također imali razdoblje poznato kao »indikacija«. Svaka indikacija — razdoblje od petnaest godina — donosila je novo razrezivanje poreza.

Za vrijeme starih Grka, »olimpijada« je bilo razdoblje od četiri godine, jer su se Olimpijske igre održavale svake četvrte godine (kao i danas, u ponovno oživljenu ciklusu).

Napokon, postoji i »generacija« koja predstavlja prosječnu dobnu razliku između roditelja i djece. Ne postoji neka općenito prihvaćena dužina trajanja generacije, iako se ponekad uzima da ona predstavlja dvadeset pet, trideset ili trideset i tri godine.

ŽIVOTNI VIJEK

U primitivno doba, vjerojatno prosječno trajanje života nije bilo dulje od oko trideset i tri godine čak ni pod povoljnim okolnostima, tako da je generacija doslovno bila vrijeme potrebno da djeca zamijene svoje roditelje. No čak je i u primitivnom dobu bilo ljudi koji su živjeli duže od toga.

U bibliji tako postoji jedan glasovit stih koji glasi: »Dani godina naših jesu tri puta dvadeset godina i deset« (Psalmi, 90—10). To bi kao normalan životni vijek uzimalo sedamdeset godina, ako nema preranog prekida zbog bolesti ili nasilja (čega je, sve do nedavnog doba, obično bilo).

U stara vremena nije moglo biti mnogo dovoljno sretnih ljudi da dožive tu starost, no stvari su se promijenile. U čitavu svijetu prosječno očekivani životni vijek iznosi pedeset i pet godina, no to uzima u obzir mnoga područja u koja još nije stigla suvremena medicina. U Afganistanu prosječni životni vijek iznosi 37,5 godina. U Angoli iznosi 33,5 godina, a u nekim drugim dijelovima Afrike očekivani prosječni životni vijek muškaraca je samo 25 godina.

U Sjedinjenm Državama, međutim, očekivani životni vijek bijelih žena je 77,2 a bijelaca muškaraca 69,4 godine. To znači da će više od polovice bjelačke populacije ostvariti biblijskih tri puta dvadeset i deset.

Ljudi, naravno, žive i duže od prosječnoga očekivanog životnog vijeka, a tako je bilo i kad je taj prosjek bio vrlo mali.

Među povijesnim ličnostima prošlosti koje su doživljele više od devedeset godina bili su grčki govornik Isokrat (436—338. prije nove ere), rimski povjesničar Kasiodor (490—583. pr.n.e.), bizantski general Narses (478—573), dužd Enrico Dandolo (1108—1205), talijanski slikar Tician (1477—1576), francuski znanstvenik Bernard de Fontenelle (1657—1757), francuski diplomat Louis de Richelieu (1696—1788) i francuski kemičar Michel E. Chevreul (1786—1889).

Nema ničega zapanjujućeg u tome što netko doživljava takvu starost čak i kad je prosječni očekivani životni vijek nizak. Uvijek postoje ljudi koji uspiju preživjeti slučajeve bolesti ili nasilja. Kad takvi ljudi dosegnu šezdeset godina, do tada razviju dovoljno imuniteta da bi izbjegli mnoge infektivne bolesti. Ako je takva osoba muškarac, on tada više nije izložen pogibiji u borbi; ako je žena, više nije izložena smrti pri porodu. Pripadnici srednjih ili viših staleža vjerojatno ne gladuju. U takvim slučajevima, dodatni prosječni životni vijek bio je jednako visok u antičko i srednjovjekovno doba kao što je i danas, jer poslije šezdesete ubojite su degenerativne bolesti — rak, ateroskleroza, artritis, bubrežne bolesti, i polagano propadanje koje je neodvojivo od starosti — a to je jednako smrtonosno danas kao što je je bilo i tada.

Budući da danas više ljudi doživi šezdeset godina, danas također ima više ljudi što dožive časne devedesete godine. Pretpostavlja se da u svijetu postoji oko 25.000 ljudi koji su doživjeli stoti rođendan, a od toga se polovica nalazi u Sjedinjenim Državama.

Postoje priče o mjestima na kojima mnogi ljudi doživljavaju znatno više od sto godina — na Kavkazu, u Andama i tako dalje. No, ono što je zajedničko svim tim mjestima jest nepostojanje rodnih listova.

U svjetskoj se povijesti tek od nedavno vode točni podaci o datumima rođenja, a u nedostatku takvih podataka, dob (koja se među sredovječnim ljudima notorno smanjuje) u kasnijim se godinama često iz taštine prikazuje starijom. Starost poznatih ljudi iz antike i srednjeg vijeka što sam je prije naveo možda je i pretjerana, iako ne mora biti tako. Ali svaka starost za koju se tvrdi da je znatno premašila sto godina, bez dokumenata kojima bi se to dokazalo, praktički je sigurno pretjerivanje.

Ako se vratimo prema legendarnim vremenima, starost je vrlo često toliko pretjerana da to postaje nevjerojatno. Ako listamo bibliju te se probijamo unatrag u vremenu, otkrivamo da je Jošua umro sa 110 godina, Mojsije sa 120, Jakov sa 147, Izak sa 180, Terah (Isakov djed) sa 205, Eber (Terahov pra-pra-pradjed) sa 464, Šem (Eberov pra-pradjed) sa 600, Noa (Semov otac) sa 950 i Metušalah (Noin djed) sa 969 godina.

Bilo je pokušaja da se te duboke starosti objasne na neki prirodan način — primjerice, pretpostavkom da su izrazito velike starosti izračunate prema lunarnim mjesecima a ne godinama, tako da bi Metušalah, proživjevši 969 lunarnih mjeseci, stvarno živio 78,5 godina.

Takva su objašnjenja, međutim, krajnje neuvjerljiva. Mnogo je vjerojatnije da su stari Židovi, spominjući te prve časne starce, opisivali verzije još starijih babilonskih legendi koje su kraljevima što vladaše u legendarnim vremenima pripisivali dob izraženu desecima stotina godina. Biblijski pisci, s pravom skeptični prema tome, smanjili su godine na samo stotine — što, naravno, nije bilo dostatno smanjenje, ali je barem bilo korak u ispravnome smjeru.

Ako se ograničimo na ljude čiji su datumi rođenja i više nego dovoljno dokumentirani, tada je najdublja čovjekova starost koja se općenito navodi životna dob Pierrea Jouberta iz Quebeca u Kanadi koji je rođen 15. srpnja 1701, a umro 16. studenoga 1814. godine, kad mu je bilo točno 113 godina i četiri mjeseca.

Ljudska bića imaju iznenađujuće dugačak životni vijek. Ako se razmotre sisavci kao grupa, proizlazi da oni žive to dulje (u prosjeku) što su veći. Patuljaste rovke obično umiru od starosti kad im je najviše godina dana, čak ako su dobro hranjene i zaštićene od svih nedaća. Tigrovi i lavovi mogu doživjeti dvadesetak godina, nosorozi tridesetak i četrdesetak, nilski konji i slonovi pedesetak i šezdesetak.

Najveću starost među kopnenim sisavcima osim ljudi doživio je jedan indijski slon koji je poživio do šezdeset devete, nakon što je čitav život proveo u zoološkom vrtu uz dobru njegu. To znači da svako ljudsko biće koje proslavlja svoj sedamdeseti rođendan promatra svijet u kojem su jedini kopneni sisavci što su bili živi kad je on rođen i što su još živi — drugi stari muškarci i žene. (Moguće je da najveći kitovi nadmaše kopnene sisavce te neki uspiju doživjeti i devede-

set godina, no čak i to se tek približava najvećem čovjekovu životnom vijeku i ne dostiže ga.)

Ljudska bića ne dijele svoju neobičnu dugovječnost čak ni s ostalim primatima. Nema podataka o gibonima koji bi živjeli više od trideset i dvije godine, orangutanima starijima od trideset i četiri, gorilama starijima od četrdeset i čimpanzama od pedeset i jedne godine.

Ta razlika postaje jasnijom ako razmotrimo otkucaje srca. Što je životinja manja, to je njezin puls brži te, da tako kažemo, živi brže. Ako zbrojimo broj udaraca srca u toku maksimalnog životnog vijeka neke životinje, proizlazi da u iznenađujućem broju slučajeva zbroj iznosi blizu jedne milijarde. Drugim riječima, bez obzira na veličinu, čini se da srce sisavaca može izdržati milijardu otkucaja i ništa više.

Čini se da je ljudsko biće jedina iznimka. U dobi od sedamdeset godina čovjekovo je srce već kucnulo 2,500.000.000 puta, a u krajnjim slučajevima moguće je ukupno postići 4,000.000.000 otkucaja. Ne zna se zašto je to tako.

Ptice općenito žive dulje od sisavaca iste veličine, što je na neki način zbunjujuće, jer ptice imaju višu tjelesnu temperaturu i brži metabolizam te bi se prema tome činilo da žive brže. S druge strane, one imaju djelotvorniji respiratorni sustav od sisavaca pa im možda to pomaže.

O ekstremno starim pticama postoje mnoge priče. Česte su priče o pticama koje su doživjele mnogo više od sto godina, no u tome uvijek ima pretjerivanja. Nije poznata nijedna ptica koje se životni vijek pratio od rođenja, bez mogućnosti pogreške, što bi doživjela makar i sedamdeset godina.

Ljudsko biće je, prema tome, vrlo vjerojatno, najdugovječnija toplokrvna životinja.

Moglo bi se činiti da taj rekord obaraju hladnokrvne životinje kojih je metabolizam polagan, koje mogu obamrijeti za hladna vremena i koje jednostavno žive sporije. Među reptilima, međutim, zmije općenito ne žive više od tridesetak godina, ako uopće i žive tako dugo. Najstariji gušteri i krokodili imaju tek pedesetak godina.

Tako preostaju kornjače (Chelonia) koje žive najsporije od svih reptila, i tu postoje autentični slučajevi pojedinih kornjača koje su dobrano nadmašile sto godina. Smatra se da je rekord postigla jedna kornjača koja je uginula 1918.

godine i koja je u vrijeme smrti vjerojatno imala više od 152 godine.

Moguće je da i neke ribe dožive više od sto godina. To navodno vrijedi osobito za jesetre; procijenjeno je da je jedna jesetra uhvaćena u jezeru na kanadsko-američkoj granici, Lake of the Woods, bila stara 152 godine. Postoje također i tvrdnje o dugovječnosti osobito velikih beskičmenjaka kao što su divovske lignje i neke vrste divovskih školjki, no to nije sigurno.

Biljke su druga stvar. Mnoga stabla mogu živjeti dulje od ijedne životinje. Bijeli bor može udvostručiti životni vijek najstarije kornjače ili jesetre te živjeti tri puta dulje od čovjeka stogodišnjaka. Zapravo, neka stabla, poglavito mamutovci i sekvoje, mogu živjeti dulje od tisuću godina, a smatra se da najstarija imaju 4.000 godina.

No najstariji od svih stabala i od svih živih bića jedan je bor u istočnoj Nevadi kojemu bi moglo biti oko 4.900 godina. Ako je tako, on je izniknuo odmah poslije 3000. godine pr.n.e. i stariji je od piramida.

No hajde da razmotrimo pojedinačne stanice, a ne višestanične organizme. Stabla, čak i najveća i najstarija, sastoje se gotovo čitava od mrtve tvari. Žive stanice čine samo mali dio ukupne mase, a nijedna od tih stanica ne živi više od trideset godina a da ne izgubi indentitet kroz diobu ili zamjenu. To je još izraženije u slučaju jednostaničnih organizama koji se često spominju kao potencijalno »besmrtni«. Možda je tako, u smislu da se stanični kontinuitet može pratiti unatrag do početka života, ali to vrijedi i za veće organizme. Identitet određenoga jednostaničnog organizma brzo se poremećuje diobom, ponekad već i nakon nekoliko minuta.

Razmotrimo, međutim, stanice čovjekova mozga. One funkcioniraju neprekidno bez diobe ili zamjene stotinu godina, ili nešto malo dulje ako ljudsko biće živi tako dugo. Nijedna druga postojeća stanica ne traje tako dugo, ne uzmemo li u obzir živčane stanice nekih drugih rijetkih stvorenja kao što su kornjača ili jesetra — a tko bi zamijenio čovjekovu nervnu stanicu za jednu njihovu?

Starost se, međutim, ne mora procjenjivati samo za pojedince. U slučaju ljudskih bića, u najmanju ruku, govor omogućuje da stari ljudi prenesu svoja iskustva mlađima, tako da se izgrađuje tijelo tradicije.

Nažalost, sjećanja nisu savršena, a zamućenost se pojačava s pričanjem i prepričavanjem. Povrh toga, priče su rijetko kad kvantitativne. Ne pamte se točne godine, a kad su brojevi zapanjujući pamte se još pretjeranijima te postaju zapanjujući još više.

Stanje se popravilo nakon izuma pisma, no i tada su se zabilješke vodile škrto i samo o onim zbivanjima koja su smatrana izvanredno važnima. Štoviše, prije izuma tiska zabilješke je bilo teško voditi te je postojao samo mali broj kopija i stoga ih je bilo lako izgubiti ili uništiti.

Prije devetnaestog stoljeća, zapisi su se rijetko vodili podrobno ili s velikom pažnjom poklonjenom točnosti, a i tada samo u industrijski naprednim zemljama.

Čak i tamo gdje su se zapisi pomnjivo vodili i čuvali, nije bilo mogućnosti za neku pedantnu »kronologiju« — naime za prikazivanje *kad* se točno nešto dogodilo — ako nije postojao neki uočljiv način identifikacije određenih godina.

Godine su se mogle identificirati uz pomoć nekog lokalno poznatog događaja: »godina velike mećave«, ili »dvije godine nakon što je grad izgorio«, ili »tri godine prije nego što je pukla brana«. Nevolja bi pri tome bila što nitko izvan tog lokaliteta ne bi znao kad se zbio ključni događaj.

Atenjani su svake godine birali članove vrhovne državne uprave (»arhonte«) i godina se zvala po prvom arhontu. Rimljani su na isti način mogli obilježavati godinu prema konzulu koji je te godine bio na vlasti. Da bi to, međutim, moglo biti od neke pomoći, valjalo je posjedovati točan popis arhonta ili konzula i stalno ga ažurirati.

U kasnijim knjigama biblije događaji se ponekad datiraju navođenjem određene godine vladavine toga i toga kralja u kojoj su se zbili. U tom slučaju morali biste imati popis kraljeva i znati kako je dugo svaki od njih vladao. Ako je svaka zemlja identificirala događaje prema njihovu zbivanju u određenoj godini vladavine svoga vladara, tada bi se moralo moći pronaći vezu između tih vladavina te znati kad je okrunjen kralj taj-i-taj u odnosu na vladavinu kralja toga-

-i-toga iz drugog kraljevstva. To je korisno kad su dva kraljevstva vodila bitku koja svako od njih stavlja u određenu godinu prema vlastitom sustavu.

Sve u svemu, teško je pronaći vezu između različitih sustava pa iz toga razloga teško možemo sigurno znati točnu godinu (a još manje točan dan) u kojoj se u davnim vremenima zbio neki događaj. Nitko ne može reći, na temelju navoda u bibliji, točan dan ili, uostalom, točnu godinu rođenja Isusa iz Nazareta. Prema tradiciji, on je rođen 25. prosinca, a tjedan dana kasnije, 1. siječnja, započela je prva godina našeg sadašnjeg sustava računanja. Povjesničari međutim smatraju da je to gotovo sigurno pogrešno.

Po svemu sudeći, osoba koja je pokrenula jednostavno brojenje godina, bez prekida i bez obzira na kraljeve ili namjesnike ili važne događaje, bio je Seleuk I, jedan od makedonskih vojskovođa koji je dobio na upravu dio carstva Aleksandra Velikog poslije smrti tog osvajača 323. godine pr.n.e.

Seleuk I osvojio je 312. godine pr.n.e. Babilon i proglasio se kraljem najvećeg dijela azijskih posjeda Aleksandra Makedonskog. Označio je da je to 1. godina i poslije toga su se godine redovito povećavale brojem. To je bila »Seleukidska era«.

Značenje Seleukidske ere bilo je u tome što su Židovi potpali pod vladavinu seleukidskih kraljeva godine 114. s.e. (sto i četrnaeste godine seleukidske ere, odnosno 198. godine pr. n.e.). Poslije toga su upotrebljavali seleukidsku eru za datiranje svojih transakcija, a kako su trgovali cijelim sredozemnim svijetom, bilo je moguće uspoređivati godine seleukidske ere s lokalnim metodama obilježavanja godina. Bila je to značajna pomoć uspostavljanju koordiniranog sustava kronologije za čitav antički svijet.

Prirodno, bilo je praktično smjestiti početnu godinu što više unatrag u prošlost, kako bi bilo manje potreba da se govori o događajima prije 1. godine, što bi značilo upotrebu negativnih brojeva. Nespretno je, primjerice, biti prinuđen reći da je Aleksandar Veliki umro —11. godine.

Grčki povjesničar Timej (345—250. pr.n.e.) znatno je smanjio vjerojatnost takve smetnje uvođenjem sustava Olimpijada u svoju povijest Italije i Sicilije. Olimpijske igre održavale su se svake četiri godine pa je Timej, označivši brojevima Olimpijade, obilježavao datume događaja prema tome

jesu li se zbili u prvoj, drugoj, trećoj ili četvrtoj godini te i te Olimpijade.

No s druge strane, kad je bila prva Olimpijada u našem sustavu kronologije? Prema tradiciji, godina prve Olimpijade bila je 776. pr.n.e. iako, naravno, ne možemo biti sigurni da je to točno.

Eratosten, grčki znanstvenik koji je prvi procijenio opseg Zemlje (kao što je već opisano), također je prvi počeo sustavno proučavati kronologiju, pokušavši datirati popis događaja u različitim zemljama prema nekom stalnom pravilu. I on je primijenio sustav Olimpijada. On je, međutim, pošao unatrag još dalje od 776. pr.n.e. i pokušao je odrediti datum najstarijem povijesnom događaju u grčkoj povijesti, trojanskom ratu. On je datumom pada Troje odredio 408. godinu prije prvih Olimpijskih igara, smjestivši ga tako u godinu koju bismo mogli nazvati 1184. prije nove ere.

Zbog svega toga smatra se da je Eratosten »otac kronologije«.

Rimljani su imali vlastiti pokušaj sistematiziranja univerzalne kronologije, brojeći godine od datuma osnutka Rima. Naravno, nitko nije znao koje je godine osnovan Rim pa su Rimljani bili prisiljeni prihvatiti nagađanja i tradiciju. Rimski znanstvenik Mark Terencije Varon (116—27. pr.n.e.) smjestio je osnutak Rima u treću godinu pete Olimpijade, ili u 753. pr.n.e.

Rimljani su poslije toga brojili godine od toga datuma. Umorstvo Julija Cezara, primjerice, dogodilo se 709. godine a.u.c. (»Ab urbe condita«, što znači »poslije osnutka grada«), ili 44. godine pr.n.e. prema našem sustavu. I dalje, pad Carigrada 1453. godine, konačni pad Rimskog carstva, zbio se 2206. godine a.u.c.

Naravno, uspostavljanje određenog sustava kronologije nije značilo da su sve godine pripisane pojedinim događajima u tom sustavu nužno točne, no to je ostalo ogromnim poboljšanjem u odnosu na ono što se prije zbivalo.

Djelotvoran način brojenja godina nije sam po sebi dostatan da se neki događaj smjesti u točno određeni dan. Najstariji događaj u čovjekovoj povijesti kojega se zna točan dan jest bitka između vojski Lidije i Medije, i to samo zahvaljujući jednoj astronomskoj slučajnosti. Ta bitka, negdje u Maloj Aziji, opozvana je zato što je neočekivana potpuna pomrčina Sunca preplašila obje vojske. Astronomi mogu računati

unatrag pa mogu odrediti dan kad se potpuna pomrčina Sunca mogla vidjeti u Maloj Aziji u stoljeću te bitke, pa tako znamo da se bitka vodila, ili zamalo vodila, 28. svibnja 585. pr.n.e.

Prvi kršćani upotrebljavali su »rimsku eru« (ili »Varonovu eru«) u svome datiranju, no njima se sigurno moralo činiti pogrešnim određivati sve datume prema osnutku jednoga poganskog grada koji je stoljećima progonio kršćane.

Budući da su kršćani vjerovali kako se cijela povijest svijeta promijenila rođenjem Isusa, činilo se razumnim podijeliti tu povijest na dva dijela, na dio poslije rođenja i na dio prije njega. Naravno, najprije je bilo potrebno odrediti godinu Isusova rođenja u odnosu na rimsku eru.

Prva osoba koja je to pokušala bio je kršćanski učenjak iz šestoga stoljeća Dionizije Egziguus koji je radio u Rimu. Oko 525. godine on je pokušao odrediti godinu Isusova rođenja te je zaključio da je to bilo 25. prosinca 753. godine a.u.c.

Prema tom sustavu, 1. siječnja 754. a.u.c. početak je godine koju danas zovemo a.d. 1 (»anno Domini« ili »ljeta Gospodnjeg«), dok je 31. prosinca 753. a.u.c. zadnji dan godine koju danas zovemo 1. godina prije Krista. Taj se sustav zove »kršćanska era«.

Kršćanska era nije odmah postala popularna. Prvi učenjak koji ju je primijenio u svojim povijesnim zapisima bio je Englez Bede (673—735). Charlemagne (742—814) je naredio njezinu upotrebu u svome velikom carstvu, no u čitavoj zapadnoj Evropi počela se općenito primjenjivati tek nešto poslije 1000. godine. Danas je, naravno, njezina upotreba univerzalna, i u kršćanskom i u nekršćanskom svijetu (barem za svjetovne i međunarodne svrhe), uglavnom zato što je u razdoblju između 1750. i 1950. godine Evropa dominirala svijetom.

Začudo, Dionizije je napravio jednu pogrešku. Biblija jasno navodi da je Isus rođen za vrijeme vladavine Heroda Velikog koji je, posve je izvjesno, umro 750. a.u.c., što je 4. godina pr.n.e. prema dionizijskom sustavu. Shodno tome, Isus se nije mogao roditi poslije 4. godine pr.n.e. (to jest, četiri godine prije svoga rođenja). Neki znanstvenici drže da je možda rođen još 11. godine pr.n.e.

Ako postoji ispravan kronološki sustav, kako se daleko unatrag može pratiti povijest ako se povijesnim događajima pripišu najbolje moguće godine?

U grčkoj povijesti, kao što rekoh, najstariji značajni povijesni događaj bio je trojanski rat koji je smješten u 1184. godinu pr.n.e. Dakako, i prije toga je bilo događaja koje su mnogi Grci smatrali zbiljskima, kao što su junačka djela Herkula, Tezeja, Perzeja i tako dalje. No većina kasnijih grčkih učenjaka smatrala ih je legendarnima i nije se uzalud trudila oko njih.

Postojale su, međutim, civilizacije starije od grčke. Egipat je, na primjer, imao visoku civilizaciju kad su Grci još bili pripadnici barbarskih plemena. Egipatski svećenik Manetho koji je živio oko 300. godine pr.n.e., napisao je povijest Egipta na grčkom jeziku. On je vladare Egipta, od vremena kad je zemlja prvi put ujedinjena do svojih dana, podijelio na trideset »dinastija« (to jest grupa vladara iz iste obitelji). Taj se sistem otada stalno upotrebljavao.

Treći kraj 12. dinastije bio je Sesostris III, i u sedmoj godini njegove vladavine, zabilježeno je, Sirius se pojavio u trenutku izlaska Sunca u vrijeme poplave Nila. Astronomi lako mogu izračunati kad se Sirius pojavljuje na taj način, jer se to događa jedanput svakih 1.460 godina. To se dogodilo na primjer 412. godine pr.n.e., mnogo kasnije od vremena 12. dinastije. Dogodilo se to također 1872. pr.n.e. koja se uzima kao sedma godina vladavine Sesostrisa III. Prema tome se može izračunati sve drugo unaprijed i unatrag.

Događaji stariji od vremena Sesostrisa III mogu biti krivo datirani možda otprilike za jedno desetljeće, no povjesničari su razmjerno sigurni da velike piramide potječu iz oko 2500. godine pr.n.e., oko trinaest stoljeća prije trojanskog rata, te da je Egipat prvi ujedinio Narmer iz 1. dinastije oko 2850. godine pr.n.e.

Nešto malo starija od egipatske bila je civilizacija iz doline Eufrata i Tigrisa, gdje su Sumerani razvili pismo neposredno prije 3000. godine pr.n.e. Bio je to prvi sustav pisma igdje u svijetu i od tog trenutka počinje povijest, jer je to značilo da su se događaji mogli bilježiti. Oni su se, naravno, mogli bilježiti pogrešno ili iskrivljeno (ili slučajno ili zlona-

mjerno), no to je bo napredak u odnosu na nepisanu tradiciju.

Povijest je, prema tome, sada stara 5.000 godina.

Jedna grupa starih prikaza čovjekove povijesti, osobito značajna za našu zapadnu civilizaciju, jest ona koja se temelji na bibliji. Židovi i kršćani iz vremena prije devetnaestog stoljeća (a mnogi od njih čak i danas) nijedan dio biblije ne smatraju legendom. Sve je to nadahnuta riječ Božja i doslovno je istinito u svakom dijelu.

Biblija ne primjenjuje sustavnu kronologiju, što stvara probleme. U kasnijim knjigama Starog zavjeta, međutim, povremeno se spominju vladari koji su bili poznati grčkim povjesničarima. Judejski kralj Hošea, na primjer, umro je u bici s egipatskim faraonom Nechom čije je razdoblje vladavine bilo poznato. Stoga se može sa sigurnošću ustvrditi da je Hošea umro 144. godine a.u.c. ili 609. pr.n.e. Upotrebljavajući takve navode u bibliji, moguće se probijati unatrag provjeravajući proračune kadgod postoji upućivanje na događaje u vezi s Asirijom ili Egiptom.

Tako bismo se mogli vratiti sve do 1020. godine pr.n.e., kao do datuma dolaska na vlast Saula, prvoga kralja Izraela. To je bilo 164 godine poslije tradicionalnog datuma trojanskog rata. To nije zadovoljavalo, jer su Židovi i kršćani željeli, iz nacionalnog i religioznog ponosa, naglasiti veću starost svoje povijesti u usporedbi s poviješću pogana. Stoga su pokušali otkriti unatrag biblijske događaje sve do Abrahama za kojeg su smatrali da je prekinuo s obožavanjem idola i ustanovio obožavanje bibljiskoga Boga.

Crkveni povjesničar Euzebije iz Cezareje (260—340) nastojao je proniknuti vrijeme Abrahamova rođenja prema različitim navodima u bibliji pa je zaključio da se to dogodilo 2016. godine pr.n.e., dvanaest i pol stoljeća prije osnutka Rima i osam i jednu trećinu stoljeća prije trojanskog rata. To je pružilo zadovoljavajući primat židovsko-kršćanskoj povijesti i uvelo »Abrahamovu eru«.

Ako bi se računalo unatrag u bibliji do rođenja Abrahamova, tada, s obzirom na to da su navedeni svi Abrahamovi preci sve tamo do stvaranja svijeta, s navedenom starošću svakoga kad mu se rodio sin, bilo bi moguće izračunati godinu u kojoj je Bog stvorio Zemlju, u skladu s opisom u Postanju.

Da je to učinjeno, dobila bi se »svemirska era« (»era svijeta«) prema kojoj se mogu datirati sve stvari i u kojoj nisu moguće negativne godine.

Židovi su počeli upotrebljavati takav jedan sustav 800-tih godina i do 1100-tih godina to je u njih postalo tradicionalnim, dosegavši oblik koji postoji i danas. Prema proračunima rabinâ, Bog je stvorio Zemlju godine 3761. pr.n.e., oko dvanaest i pol stoljeća prije nego što su sagrađene piramide. Prema tom proračunu, starost Zemlje u trenutku pisanja ove knjige iznosi 5.742 godine.

Različiti kršćanski učenjaci izrađivali su vlastite proračune, zaključivši da je svijet stvoren 5500. godine pr.n.e., uz spornu razliku od jednog desetljeća prije ili kasnije. Svijet bi prema tome bio star 7.500 godina.

Na protestante engleskoga govornog područja najviše je, međutim, utjecao proračun Jamesa Usshera (1581—1656), anglikanskog biskupa irskog podrijetla. On je izračunao da se stvaranje Zemlje zbilo 4.000 godina prije Isusova rođenja — to jest 4004. godine pr.n.e. Izdanja biblije kralja Jamesa (»autorizirana verzija«) koja odani protestanti engleskoga jezičnog područja smatraju pravom biblijom, obično imaju Ussherov kronologijski sustav unesen na margine ili na početku stupaca.

Prema Ussherovim proračunima, starost Zemlje (zapravo i univerzuma) u vrijeme pisanja ove knjige jest 5.985 godina.

14

Starost Zemlje

UNIFORMITARIJANIZAM

Prije osamnaestoga stoljeća, prema tome, istraživanje vremena čini se da je krajnji horizont prošlosti, u zemaljskim kategorijama, postavilo unatrag ne više od nekoliko tisuća godina od sadašnjosti. No je li doista tako? Može li Zemlja doista biti stara tek 6.000 godina?

Postoje znakovi o tome da se na Zemlji zbilo vrlo mnogo zanimljivih događaja, događaja za okončanje kojih, pomislili bismo, treba vrlo mnogo vremena. Grčki filozof Ksenofan (560—478) prvi je to istakao u našoj zapadnoj tradiciji.

On je bio racionalist, posve skeptičan prema grčkim pričama o bogovima i herojima. Držao je smiješnim zamišljati da božanska stvorenja imaju ljudsko obličje te je rekao da bi volovi, kad bi umjeli klesati kipove, izrađivali kipove bogova koji bi izgledali poput volova.

On je primijetio, primjerice, da postoje morske školjke usađene u čvrsto stijenje visoko u planinama pa je izveo logičan zaključak da su područja što su sad visoko iznad morske razine, nekad morala biti ispod morske razine. Tamo su živjeli školjkaši, njihove su školjke tonule u mulj, mulj se pretvorio u stijenje, a stijenje je uzdignuto visoko u zrak. Budući da se takve promjene nisu zbivale nekim mjerljivim tempom u svijetu onog doba, one su se zbivale ili vrlo sporo, tako da je Zemlja bila vrlo stara, ili je u bliskoj prošlosti postojala neka silna katastrofa.

Grci su zapravo, poput većine naroda, imali legende koje su govorile o katastrofama. Ksenofan bi se prezirno podsmjehivao samim legendama, no možda je bio spreman priznati da su one nesavršena sjećanja, dramatizirana i zaodjenuta u priču, stvarnih događaja.

Prema jednoj takvoj legendi, Faeton, sin boga-sunca i smrtne žene, pokušao je jedan dan povesti sunčevu kočiju. Nije mu to uspjelo pa je Sunce, skrenuvši sa svoga puta, zamalo uništilo Zemlju prije no što je Zeus uspio ubiti Faetona munjom te ponovno uspostaviti red. Bilo što neobično na Zemlji moglo se objasniti kao posljedica događaja toga jednog užasnog dana.

U kršćanskoj Evropi, Ksenofanova otkrića počeše se objašnjavati velikom biblijskom katastrofom općeg potopa.

U dolini Eufrata i Tigrisa doista je bila strašna poplava na početku njezina razdoblja pisane povijesti. Dokaz za tu poplavu pribavio je engleski arheolog Charles Leonard Woolley (1880—1960) koji je 1920-ih godina otkrio debele slojeve vodom nataloženoga pijeska što su potjecali iz doba oko 2800. godine pr.n.e.

Doline rijeka izložene su takvim poplavama, no čini se da je ona iz 2800. pr.n.e. bila neobično velika. Sigurno je bila ubila velik dio stanovništva doline i mogla je gotovo uništiti čitavu tu civilizaciju. Stanovnicima tog područja moglo se lako činiti da je stigao konac svijeta, a takva priča nedvojbeno ništa nije izgubila u prepričavanjima. Napokon se taj događaj počeo opisivati kao svjetski potop koji je preživljela samo jedna obitelj.

Ta je priča ispričana u dramskom obliku u Epu o Gilgamešu koji je nastao u sumeranskoj civilizaciji ubrzo poslije poplave i koji se proširio čitavim civiliziranim svijetom onoga doba. Preuzeli su ga Izraelićani, da bi se napokon u bibliji pojavile dvije različite verzije, u poglavljima 6 do 9 Knjige postanka. Godina je, prema Ussherovoj kronologiji, bila 2349. pr.n.e.

Biblijski potop je, prema opisu, pokrio čitav svijet i ubio sva kopnena stvorenja osim Noe, njegove žene, tri sina, tri snahe i različitih životinja koje je poveo sa sobom u arci.

Sve što se na Zemlji činilo naopako pripisivalo se, prema tome, potopu. Svi ostaci prastarih živih bića smatrani su životinjama koje su se utopile u poplavi. Sve stijenje na mjestima gdje ga nije trebalo biti smatralo se stijenjem što ga

je naplavila poplava. Antička nagađanja o sporim promjenama na Zemlji, o nastanku riječnih delta, o promjenama morske razine, o eroziji, sva su bila odbačena, jer se smatralo da je sve to u vezi s potopom. Zemlja je stvorena 4004. godine pr.n.e. (ili u neko vrijeme blizu tome) i proživjela je taj strahoviti kataklizam 1.655 godina kasnije, to je bilo to.

Pa ipak, svi nisu bili zadovoljni; 6.000 godina nije bilo dovoljno.

Prvi suvremeni znanstvenik koji će to reći otvoreno i podrobno bio je francuski prirodoslovac Georges L. L. de Buffon (1707—88). On je proveo pedeset godina sam pišući i objavljujući enciklopediju prirodnih znanosti u trideset i šest svezaka (planirao je pedeset). U petome svesku, objavljenom 1778, iznio je svoje ideje o razvitku Zemlje.

On je držao da je potrebno više vremena kako bi se objasnile promjene koje je Zemlja očito prošla te je nagovijestio da je Zemlja nastala ne prije 6.000, već prije 80.000 godina. On je nagovijestio da nije djelo Božje obavilo taj posao, kao što se navodi u Knjizi postanka, već sudar Sunca s nekim sličnim nebeskim tijelom. (Buffon je to drugo tijelo nazvao kometom, jer u ono vrijeme nije bila poznata priroda kometa.)

Potom je opisao tijek Zemljina razvitka. S početka je bila u rastaljenu stanju i polako se skrutila, ali ne prije nego što je rotacija proširila njezina ekvatorijalna područja do izbočine koja se može zapaziti. Kruta kora Zemlje potom se nabrala u planine, a vodena para u atmosferi kondenzirala se i stvorila oceane. Morski život nastao je prije oko 40.000 godina, a neki od prvih organizama potonuli su u mulj tako da su nastali fosili. Nešto vode zatim je oteklo kroz pukotine u Zemljinu unutrašnjost, tako da je ostalo izloženo suho tlo. Na suhome kopnu pojavile su se životinje i, napokon, čovjek. Buffon je čak zamislio neki oblik evolucije kroz degeneraciju — neki su konji degenerirali u magarce, neki ljudi u čovjekolike majmune i tako dalje.

Iako je Buffon pomnjivo iznosio zaključke i služio se zapažanjem i, kad je mogao, eksperimentom, on se nije mogao oprijeti snazi uvriježene religije. Bio je prisiljen poreći svoje mišljenje.

No 1789, godinu dana poslije Buffonove smrti, započela je Francuska revolucija pa je moć crkve znatno oslabila. Znanstvenici mogaše zanemariti stare babilonske legende,

čak i u njihovu biblijskom obliku, te razmotriti povijest Zemlje na temelju dokaza. Horizont vremena počeo se širiti unatrag.

Zadatak njegova širenja preuzeo je škotski geolog James Hutton (1726—97). Njegova su ga pažljiva proučavanja Zemljina terena uvjerila — kao što uvjeriše i druge prije njega — da je postojala polagana evolucija površinske strukture. Neke stijene, učinilo mu se jasnim, nataložile su se kao sedimenti i sabile; drugo je stijenje bilo rastaljeno u Zemljinoj unutrašnjosti i zatim je izbilo na površinu pod utjecajem vulkanske djelatnosti; isloženo stijenje trošilo se pod utjecajem vjetra i vode; i tako dalje.

Huttonov veliki doprinos svemu tome bila je misao da su sile koje sada polako djeluju mijenjajući Zemljinu površinu, djelovale na isti način i istom brzinom tijekom čitave prošlosti Zemlje. To je »uniformitarijanistički princip«. On je držao da je glavna sila tog djelovanja koja pokreće sve te polagane promjene, unutrašnja toplina Zemlje. Naš je planet, ukratko, divovski toplinski stroj.

Huttonu se činilo da povjest Zemlje mora biti neobično duga, jer iako su sva ta djelovanja puzajuće spora, ipak je bilo vremena da se zbiju silne promjene. »Nema ni traga početku, niti je kraj na obzorju«, bio je rekao.

Hutton je 1785. godine objavio *Teoriju Zemlje* u kojoj je iznio svoje ideje. Učinivši to, postao je »ocem geologije«.

Postojao je, naravno, snažan otpor Huttonovim idejama, ali religijski krugovi nisu u Velikoj Britaniji bili dovoljno jaki da bi ga prisilili na uzmak. Osim toga, čak su i njegovi protivnici bili primorani priznati dugovječnu Zemlju. Ti su protivnici stoga morali spojiti jasne dokaze o dugovječnosti Zemlje sa Zemljom kratka vijeka koju je očito opisivala biblija.

Švicarski prirodoslovac Charles Bonnet (1720—93) pokušao je objasniti sve veći broj fosila što su pronađeni u stijenama pretpostavkom da je Zemlja od vremena do vremena doživljavala neku katastrofu koja je uništila sav život na njoj, ostavljajući tragove u obliku fosila — nakon čega je sve počinjalo nanovo. To je bio »katastrofizam« za razliku od uniformitarijanizma.

Katastrofizam je omogućio iznošenje navoda da su ljudi, iako je Zemlja vrlo dugo postojala, mogli pretpostaviti kako je postojala jedna posljednja katastrofa prije 6.000 godina,

nakon čega je Bog stvorio Zemlju kakva sad postoji i kakva je opisana u bibliji.

Katastrofe su omogućile znanstvenicima da izbjegnu priznanje kako oblici života evoluiraju i mijenjaju se. Iako je zbog fosila i njihovih sličnosti, uz presudne razlike, sa živim organizmima, misao o evoluciji postala neizbježnom, to se moglo poreći ako bi se ustrajalo na tome da fosili pripadaju prošlim stvaranjima te da nemaju nikakve veze sa sadašnjim životom.

Drugi škotski geolog, Charles Lyell (1797—1875), prihvatio je Huttonova stajališta i njegov uniformitarijanizam. Između 1830. i 1833. objavio je *Principe geologije* u tri sveska. Knjiga je bila dobro napisana i dobro se prodavala. Brižljivo iznošenje i analiza dokaza pomogli su da se uniformitarijanizam* afirmira, pa pitanje postoji li Zemlja više od 6.000 godina nije više bilo predmetom kontroverzija među znanstvenicima. Odgovor je bio da ona doista postoji više od 6.000 godina, i to čak mnogo, mnogo više.

OČUVANJE ENERGIJE

Pitanje je bilo: koliko je to više?

Ako bi se prihvatio uniformitarijanizam, moglo bi se izmjeriti kojom se brzinom odvija neka stalna promjena te zatim izračunati koliko bi vremena trebalo da nastane neki zamijećeni krajnji rezultat. Kako brzo raste delta Nila i koliko bi vremena prema tome trebalo za njezin nastanak? Kako se brzo talože sedimenti i koliko bi vremena prema tome trebalo da se formira taložno stijenje zapažene debljine?

Ili pretpostavimo da je ocean, u početku, bio slatka voda te da je postupno postao slan od primjesa soli koju su mnoge rijeke ispirale iz tla. Ako se analizira sadržaj soli u riječ-

* Poslije Lyellova vremena geolozi su napustili krajnji uniformitarijanizam. Iako je tijek događaja najvećim dijelom polagan i postojan, ipak su *postojala* povremeno neka burna zbivanja. Ona nikad nisu uspjela potpuno uništiti život, no poneko je ipak, čini se, učinilo velikih šteta. Nijedan takav događaj nije se zbio u povijesno doba. Drugim riječima, u trećem mileniju prije nove ere nije bilo nikakva općeg potopa kao što je opisano u bibliji.

noj vodi te ako se procijeni ukupni dotok riječne vode u ocean, moguće je ustvrditi kako je trebalo 1,000.000.000 godina da oceani postanu tako slani kao što su danas.

Ova brojka nije bila neopoziva, jer ne možemo biti sigurni da su se rijeke u prošlosti ponašale posve isto kao i danas, ili da neki plitki morski tjesnaci nisu bili odvojeni i isušeni, ostavljajući sol na suhom tlu i oduzimajući je oceanu.

Pa ipak, sve metode procjenjivanja Zemljine starosti mjerenjem spore stope odvijanja geoloških procesa i uzimanjem u obzir velikih rezultata, jasno su pokazale da je Zemlja stara najmanje nekoliko stotina milijuna godina.

To je odgovaralo geolozima, naravno, ali odgovaralo je i biolozima, zahvaljujući novim razmatranjima polagana razvitka oblika života.

Engleski geolog William Smith (1769—1839) pomno je proučavao fosile te pokazao kako različiti slojevi stijenja (»naslage«) imaju fosile karakteristične za njih; kako se naslage mogu pratiti kilometrima na nekom području i uvijek u tim naslagama pronaći ti karakteristični fosili. Štoviše, koliko su naslage bile dublje i prema tome, vjerojatno, starije, toliko su se fosili više razlikovali od živućih organizama. Smith je objavio svoja zapažanja 1816. godine i to je dalo veliki poticaj pojmu biološke evolucije — polaganu mijenjanju organizama iz vrste u vrstu, od starih do današnjih oblika.

Biologe, naravno, nije toliko uznemirivala sama činjenica evolucije, već njezin mehanizam. Što je to *poticalo* vrste na mijenjanje?

Prvi pokušaj odgovora na to pitanje potekao je 1809. godine od francuskog prirodoslovca Jeana Baptistea de Lamarcka (1744—1829). On je smatrao da se životinje ponešto mijenjaju tijekom svoga života kao posljedica svojih prirodnih aktivnosti. Tako će antilopa koja se hrani lišćem neprekidno posezati za njim uvis te tijekom tog procesa pomalo produživati svoj vrat. Taj duži vrat prenijet će se na njezinu mladunčad koja će nastaviti proces, dok napokon antilopa ne postane žirafom. To »nasljedstvo stečenih značajki«, međutim, nije bilo dostatno objašnjenje. To ne bi razjasnilo kako je žirafa stekla svoju mrljastu kožu, nešto što nije značajka ostalih antilopa. Mrljasta koža bila je korisna kao prirodna kamuflaža, no jesu li žirafe *činile* nešto što bi išlo za tim da koža postane još mrljastija?

No, 1859. godine engleski je prirodoslovac Charles Robert Darwin (1809—82) objavio svoje *Podrijetlo vrsta* u kojem je iznio ideju »evolucije prirodnim odabirom«. U svakoj generaciji, naći će se slučajnih varijacija od jedinke do jedinke, a one jedinke koje su bile brže, ili snažnije, ili snalažljivije, ili izdržljivije, ili su imale kožu koja se bolje stapala s okolicom — imale su veće šanse za život i reprodukciju. Na kraju, nastat će progresivne promjene koje će poboljšati prilagodbu vrste njezinu okolišu. Dovoljno promjena stvorit će novu vrstu koja će u stanovitim aspektima značiti napredak u odnosu na staru.

Ta se ideja susrela s gotovo histeričkim otporom konvencionalnih religijskih vođa onoga doba (a i danas je tako), no prihvatila ju je znanstvena zajednica, kao i oni koji su razmišljali s drugih osnova, a ne na temelju tradicije, autoriteta i emocija.

Ono što se, međutim, tražilo, da bi Darwinova evolucija mogla djelovati (ili svaka druga modificirana i usavršena njezina varijanta koja je otada iznijeta), bilo je mnogo vremena. Neusmjeravani prirodni odabir, pri kojem se bira među malim slučajnim promjenama od kojih većina znači pogoršanje — traži mnogo vremena i očito su potrebni mnogi milijuni godina.

Nastala je stoga pomutnja kad se učinilo, još dok je Darwin iznosio svoju teoriju, da se starost Zemlje nenadano skratila. Nije se smanjila na 6.000 godina, no ipak se smanjila nelagodno mnogo kao rezultat novih otkrića u fizici.

U 1840-im godinama postajalo je sve očitije da postoje mnogi oblici energije i da se jedan oblik može lako pretvarati u drugi. Ako se, međutim, u razmatranje uzela toplina kao jedan oblik energije, ta bi se transformacija obavljala bez konačna gubitka ili dobitka.

Njemački fizičar Hermann Ludwig von Helmholtz (1821—94) napokon je to izrazio riječima, jasno i uvjerljivo, 1847. godine i time je utvrđen »zakon očuvanja energije«. Prema tom zakonu, iako se energija može mijenjati iz jednog oblika u drugi, nemoguće ju je ni stvarati ni uništiti.

Utvrdivši taj princip, Helmholtz je počeo proučavati Sunce.

Uvijek se bilo pretpostavljalo da je Sunce vječno, ili da će postojati sve do vremena dok se bogu ne prohtjedne da ga

ukine. Ono se smatralo spremištem svjetlosti koja je osvjetljavala Zemlju.

Ali, izvori svjetlosti ovdje na Zemlji nastavljaju obavljati svoj posao iluminiranja samo tako dugo dok postoji nešto što može sagorijevati. Kad nestane goriva, nestaje i svjetlosti. Moglo bi se ustvrditi da nebeska svjetlost podliježe drugim zakonima, no Helmholtz je držao da zakon očuvanja energije mora biti univerzalan. Sunce prosipa ogromne količine energije, i ona mora odnekud dolaziti.

Kad bi Sunce bilo ogromna ugljena vatra, tada bi, uz brzinu kojom emitira energiju, čitava supstancija Sunca sagorjela za 1.500 godina. Budući da Sunce očito postoji najmanje 6.000 godina, čak i prema najstriktnijim pristašama biblije, morao je postojati neki drugi, obilniji izvor nego što je to zapaljeni ugljen.

Helmholtz je razmotrio nekoliko mogućnosti i otkrio da je svaka od njih manjkava. Njegov konačni zaključak, 1854. godine, bio je da se Sunce sažima. Njegova sadržina upada prema unutra kao odgovor na silu gravitacije i, dok se to događa, energija gibanja tog pada (»kinetička energija«) pretvara se u zračenje. Sunce je tako ogromno da čak i mali stupanj toga upadanja osigurava sve što je potrebno za njegovu radijaciju. Tijekom cijele povijesti civilizacije, ukupno sažimanje Sunca bilo je premalo da bi se moglo otkriti instrumentima kakvi su postojali u Helmholtzovo doba.

No što ako je Zemlja bila neizmjerno starija od civilizacije? Ako bismo zamislili da prodiremo sve dalje i dalje unatrag u vremenu, Sunce bi bilo moralo biti sve veće i veće. Ne bi proteklo baš mnogo milijuna godina u prošlosti prije no što bi Sunce bilo dovoljno veliko da proguta Zemlju pa Zemlja ne bi mogla biti starija od toga kao od apsolutnog maksimuma.

Nije se činilo vjerojatnim da će taj maksimum biti dovoljno dugačak za geologe da razjasni zamjetljive promjene na Zemljinoj kori, ili za biologe kako bi razjasnio evolucijske promjene.

To je potpuno razjasnio rad škotskog fizičara Williama Thomsona, kasnije lorda Kelvina (1824—1907). On je već 1846. godine objasnio da bi se Zemlja, da je bila nastala kao dio Sunca (kao što je Buffon ustvrdio šezdeset godina prije), ohladila od Sunčeve površinske temperature do svoje sadašnje površinske temperature za oko 100,000.000 godina.

K tome, Zemlja ima ekvatorijalnu izbočinu nastalu zbog njezine rotacije, no njezina sadašnja rotacijska brzina nije dovoljno velika za nastavak takve jedne izbočine. Međutim, Zemljina se rotacija postupno usporava zbog Mjesečeva utjecaja morskih doba. U prošlosti je moralo postojati neko vrijeme kad je rotacija bila dovoljno brza za nastanak izbočine, a u to je vrijeme Zemlja morala biti toliko vruća da je bila tekuća. Nakon što je stvorena izbočina, Zemlja se ohladila do točke skrućivanja i izbočina je ostala čvrsto na svome mjestu. Ta je izbočina ostala kakva je i bila dok se Zemljina rotacija nastavila usporavati te postala presporom da bi mogla razjasniti veličinu izbočine. Kelvinovi su proračuni pokazali da se i na toj osnovi Zemlja skrutila i postala mogućim boravištem života prije ne više od 100,000.000 godina.

Kelvin je to učinio prije nego što je Helmholtz objavio svoju teoriju o Suncu koje održava svoju radijaciju kroz sažimanje. Kad se pojavilo to izdanje, Kelvin je izračunao koliko bi radijacije nastalo da je Sunce započelo kao globus promjera 300,000.000 kilometara (ispunjavajući prema tome i Zemljinu orbitu) te se zatim smanjilo do svoje sadašnje veličine. Uz sadašnju stopu otpuštanja energije, Sunce bi bilo moralo proći to sažimanje za 25,000.000 godina. Zemlja očito nije mogla postojati kad je Sunce bilo tako veliko da se njegova površina protezala do same Zemlje.

Prema tim različitim linijama izvođenja zaključaka, prema tome, činilo se jasnim da Zemlja ne bi mogla biti starija od 100,000.000 godina te da, vrlo vjerojatno, nije starija od 25,000.000 godina. A to jednostavno nije bilo dovoljno dugo za geologe i biologe, razlika je zapravo bila poprilična.

RADIOAKTIVNOST

No tada, 1896. godine, francuski je fizičar Antoine Henri Becquerel (1852—1908) otkrio, više ili manje slučajno, da neke tvari emitiraju zračenje neprekidno. Ta je pojava nazvana »radioaktivnost«. Daljnja istraživanja tih zračenja što su ih provodili mnogi fizičari pokazala su da ta zračenja emitiraju teški metali, uran i torij, te da do toga dolazi zbog raspadanja atoma:* U tom procesu neprekidno se emitira top-

* Atomi su submikroskopske jedinice od kojih je sastavljena tvar. O njima ćemo reći više kasnije u knjizi.

lina. Negdje u srcu atoma postoji izvor energije, postojanje kojega se do tada nije očekivalo. Taj novi izvor energije bit će nazvan »nuklearnom energijom«.

To je sve promijenilo. Dakako, raspad samo jednoga radioaktivnog atoma stvara infinitezimalne količine topline, a u nekom običnom uzroku tvari raspadaju se samo vrlo rijetki atomi — i zato je nuklearna energija prošla nezapaženo kroz duge vijekove čovjekove povijesti. Pa ipak, ako bi se uzeli u obzir svi radioaktivni atomi koji se raspadaju u samoj Zemlji svake sekunde, dobavilo bi se dovoljno topline da održi Zemlju pri njezinoj sadašnjoj temperaturi dugo, dugo vremena.

Prema tome, svi proračuni koji su uzimali da se Zemlja hladi postojanom i dosta brzom stopom, od vremena kad bijaše dijelom Sunca, bili su bez valjanosti. Zahvaljujući radioaktivnosti, Zemlja se hladila doista vrlo polako pa su se mogli odbaciti svi njezini rasponi postojanja temeljeni na brzinama hlađenja.

K tome, moglo bi biti da je nuklearna energija, a ne sažimanje, izvor Sunčeve energije i radijacije. U tom slučaju, Sunce bi moglo emitirati zračenje na sadašnjoj razini milijarde godina bez ikakvih zamjetljivih promjena veličine te bi se mogli odbaciti svi proračuni koji uključuju postupno sažimanje.

I tako, na početku dvadesetoga stoljeća, poslije pedeset godina raspinjućih dvojbi, još je jedanput postalo mogućim razmišljati o Zemlji koja je dovoljno stara da ostavi geolozima i biolozima prostora za njihova zapažanja i teorije.

Zapravo, pojava radioaktivnosti pružila je znanstvenicima način da izračunaju starost Zemlje mnogo bolji od ičega što je prije postojalo.

Fizičar rođen na Novom Zelandu, Ernest Rutherford (1871—1937), pokazao je 1904. godine da se određene vrste radioaktivnih atoma raspadaju točno određenim brzinama. Svaki pojedinačni atom može se raspasti u nekom nepredviđenom trenutku, ali vrlo velik broj atoma određene vrste, uzetih zajedno, slijedi i zakone razrađene za pojavu što je nazvana »reakcija prvog reda«.

Kod takve reakcije, polovica atoma raspala bi se nakon stanovitog vremenskog intervala, recimo x godina. Polovica onoga što je preostalo raspala bi se za dodatnih x godina; polovica onoga što je tada preostalo za još x godina;

i tako dalje. Razdoblje tih x godina Rutherford je nazvao »poluvremenom«. Svaka vrsta radioaktivnih atoma ima karakteristično poluvrijeme, od vrlo kratkog do vrlo dugačkoga.

Prvi element za kojeg se otkrilo da je radioaktivan, uran, postoji u prirodi u dva oblika (ili »izotopa«): uran-237 i uran-235. Prvi ima poluvrijeme od 4,500.000.000 godina, a drugi 700.000.000 godina. Kako je postalo uobičajeno da se 1,000.000.000 godina smatra »jednim eonom«, mogli bismo reći da poluvrijeme urana-238 iznosi 4,5 eona, a urana-235 0,7 eona.

Drugi element u kojeg je otkrivena radioaktivnost, torij, sastoji se od samo jednog oblika, torija-232, i ima poluvrijeme od 13,9 eona.

Te iste 1904. godine, američki fizičar Bertram Borden Boltwood (1870—1927) pružio je konačni dokaz o tome da su atomi urana i torija, pri raspadanju, postajali atomima drugih elemenata koji su se opet raspadali u dugom lancu takvih zbivanja, dok nisu završili kao stabilni izotopi olova. Uran-238 završio je kao olovo-206, uran-235 završio je kao olovo-207, a torij je završio kao olovo-208.

Razmišljajući dalje o tome, Boltwood je napomenuo 1907. godine da bi se ti raspadi možda mogli iskoristiti za izračunavanje starosti stijenja — ili barem dužine vremena tijekom kojega je stijena ostala kruta i neporemećena. Određivanjem količine urana-238 i olova-206 u nekoj određenoj stijeni, moglo bi se izračunati koliko je dugo trebalo da ta količina olova-206 nastane iz te količine urana-238, ako se zna poluvrijeme ovoga potonjeg.

No postoji jedna »kvaka«. Nije sve olovo proizvod urana i torija. Nešto je olova moglo postojati u stijeni od početka. Uostalom, postoje stijene koje uopće ne sadrže ništa urana ili torija, i vjerojatno nikad ni nisu sadržavale, a ipak tamo može biti olova.

Na sreću, postoji način da se to uzme u obzir. Olovo se u prirodi sastoji od četiri izotopa. Tri od njih mogu nastati iz urana i torija, ali četvrti, olovo-204, to ne može. Sve olovo-204 koje postoji — postojalo je oduvijek, sve od nastanka Zemlje.

U uzorcima olova koje, koliko možemo reći, nikad nije imalo veze s uranom ili torijem, uvijek postoji četrdeset i sedam atoma olova-206 na svaka tri atoma olova-204. Ako, prema tome, u nekoj stijeni postoje i uran i olovo, najprije

se mora analizom odrediti olovo-204. Ako se ta količina pomnoži sa 47/3, tada se dobiva količina olova-206 koje je bilo prisutno bez obzira na uran. Svaka prisutna količina olova-206 *iznad* te brojke nastala je raspadom uranovih atoma.

Takve stvari ne pružaju smjesta starost Zemlje. Ne sadrže sve stijene mjerljive količine urana. One koje ga sadrže možda su nekad u prošlosti bile rastaljene. Vulkanska aktivnost uvijek rastaljuje stijenje, a u Zemljinoj povijesti možda je bilo mnogo razdoblja aktivnoga vulkanskog djelovanja. Većina je stijenja u nekom vremenu bila rastaljena, ili razorena erozijom ili otapanjem i, u tim slučajevima, uran i olovo sigurno bi se razdvojili, jer ta dva elementa reagiraju različito na geološke promjene kad nisu solidificirani u krutu stijenu.

Da bi se, prema tome, mogli donijeti korisni zaključci na temelju urana i olova u stijeni, ta stijena je morala biti nedirnuta taljenjem, erozijom ili otapanjem dugo vremena. Stoga je moguće odrediti samo vrijeme u kojem je ta stijena ležala nedirnutom, a ono može biti znatno kraće od starosti Zemlje.

Pa ipak, moglo se pronaći stijenja koje je, prema sadržaju urana i olova, bilo očito starije od jednog eona. Najstarija stijena, koliko je do danas izračunato, bila je jedna iz zapadnoga Grenlanda koja je, kako se pokazalo, stara oko 3,7 eona ili 3,700.000.000 godina.

To Zemlji daje samo minimalnu starost. Ona bi mogla biti mnogo starija od toga, možda nijedan komad dostupne stijene nije dulje od toga proživio nedirnut. Postoji li ikakav način da pomaknemo horizont vremena dalje od starosti nedirnutoga stijenja?

NASTANAK SUNČEVA SISTEMA

Prema biblijskim gledištima, ne samo Zemlja, već i čitav svemir — Mjesec, Sunce, planeti i zvijezde — nastali su prije 6.000 godina. To vrijeme može biti pogrešno, ali ako je čitav svemir doista nastao u isto vrijeme, tada bismo, ako bismo mogli odrediti točnu starost bilo kojega astronomskog tijela, imali također i starost Zemlje.

No je li čitav svemir nastao odjedanput? Ne mora biti. Buffon je, primjerice, držao da je Zemlja nastala od Sunca, u nekom katastrofalnom sudaru Sunca s nekim drugim tijelom. Ako je bilo tako, tada je Sunce moglo postojati bezbrojne eone prije nastanka Zemlje. Pa ipak, u tom slučaju možda su barem različiti planeti nastali usporedno.

No, godine 1796. francuski je astronom Pierre Simon de Laplace (1749—1827) izrazio mišljenje da je čitav Sunčev sustav, uključujući i Sunce, nastao iz ogromnoga uzvrtloženog oblaka prašine i plina nazvanog »nebula« (prema latinskoj riječi za »oblak«).

Taj se oblak sažimao pod utjecajem vlastite gravitacije i, dok se to odvijalo, njegova se rotacijska brzina povećavala u skladu sa »zakonom očuvanja kutnog momenta«. Konačno, oblak se tako brzo vrtio i stvorio je tako veliku ekvatorijalnu izbočinu da se jedan prsten tvari potpuno odvojio od njegova ekvatora i zgusnuo u planet. To se stalno i stalno ponavljalo, sve dok ono što je preostalo od oblaka ne postade Suncem.

Ta »nebularna hipoteza« bila je vrlo popularna u cijelom devetnaestom stoljeću. Ako se ona prihvati, tada bi proizašlo da je krajnji vanjski planet najstariji, a da su ostali sve mlađi što su bliže Suncu — dok je samo Sunce najmlađe od svih. No čak i u tom bi slučaju Mjesec mogao biti iste starosti kao i Zemlja, jer je barem vjerojatno da je on nastao od istoga prstena tvari od kojeg je nastala i Zemlja.

Nebularna hipoteza nije, međutim, zadržala svoju popularnost. Pokazalo se da planeti imaju 98 posto čitavoga kutnog momenta (naime, čitavog sadržaja vrtnje, da tako kažemo) u Sunčevu sustavu, a Sunce ima samo 2 posto. Ako su planeti nastali od prstenova tvari koji su se otkidali od glavne mase sažimajuće nebule, kako su ti razmjerno mali prstenovi mogli skupiti čitav kutni moment?

Stoga je, 1900. godine, američki geolog Thomas Chrowder Chamberlin (1843—1928) revidirao Buffonovu ideju. On je iznio mišljenje da je u dalekoj prošlosti neka druga zvijezda prošla blizu Sunca. Njihov međusobni gravitacijski utjecaj otkidao je tvar i s jedne i s druge zvijezde. Izdvojena tvar, izvučena u obliku dugačke vrpce, počela se vrtjeti pod utjecajem gravitacije zvijezda dok su prolazile jedna pokraj druge. Planeti su se stali okretati i kutni moment skupio se u njima pod gravitacijskim utjecajem.

Prema Chamberlinovoj teoriji, svi su planeti bili jednako stari.

Ta je teorija bila popularna tridesetak godina, no pobliža su istraživanja pokazala da postoje nesavladive teškoće. Gravitacijska sila ne bi mogla izvući dovoljno tvari, ne bi je mogla izbaciti do dovoljno velikih udaljenosti i ne bi mogla prouzročiti dovoljnu vrtnju. Osim toga, unutrašnjost Sunca bila je daleko vrelija nego što se mislilo 1900. godine i tvar izvučena iz Sunca ne bi se toliko ohladila da bi nastali planeti; jednostavno bi se proširila u svemir kao rijedak plin.

Konačno, 1944. godine, njemački astronom Carl Friedrich von Weizsacker (1912—) vratio se nebularnoj hipotezi. Tada se već znalo mnogo više nego u Laplaceovo vrijeme. Jasnije su bile pretpostavke o tome kako bi se neka nebula okretala i kako bi vanjski dijelovi stvarali vrtloge i virove. Weizsacker je iznio da bi Sunce i svi planeti — čitav Sunčev sustav — nastali manje ili više istodobno. Što se tiče kutnog momenta, tada se moglo pokazati da Sunce ima elektromagnetsko polje i da, dok se Sunce zgušnjava nastajući od nebule, to elektromagnetsko polje može poslužiti za prenošenje kutnog momenta na planete.

Astronomi su sada uvjereni da je cijeli Sunčev sustav nastao u isto vrijeme te da bi nam starost svakoga njegovog dijela mogla dati i starost Zemlje. Analiza stijenja na Mjesecu bila bi, prema tome, jednako korisna kao i analiza stijenja na Zemlji.

Godine 1969. astronauti su konačno doprli do Mjeseca i stijenje s Mjeseca dopremljeno je na Zemlju. Otkriveno je da je stijenje s Mjeseca dopremljeno s lunarnih visinskih područja staro između 4,0 i 4,2 eona, do pol eona starije od najstarije ispitane stijene na Zemlji.

Pa ipak, čak i to daje samo minimalnu starost.

Dok su nastajali planeti, prema sadašnjim stajalištima o podrijetlu Sunčeva sustava, prašina i plinovi nebule skupljali su se u fragmente koji su se dalje skupljali u veće fragmente, u šljunak, kamenje, brda. Nastajale su jezgre većih tijela koje su skupljale krhotine i komadićke. Potkraj planetarne formacije, preostali fragmeti bili su dovoljno veliki da izdubu rupe u planetima dok su oni obavljali konačno »čišćenje«.

Posljednja skupljena tijela ostavila su kratere koji su još vidljivi, ne samo na Mjesecu, već i na Merkuru, Marsu i raznim satelitima Marsa, Jupitera i Saturna. (Imala bi ih i Zemlja, ali djelovanje zraka, vode i života na našem planetu ih je erodiralo, osim nekih slabo vidljivih tragova posve nedavnih meteoritskih pogodaka.)

Razbijanje velikih tijela o Mjesec poremećivalo je, mrvilo i vjerojatno privremeno rastaljivalo svaki dio vidljive površine Mjeseca u neko vrijeme. Ono što danas vidimo od lunarne površine ostalo je razmjerno mirno i nepromijenjeno tek nakon prestanka bombardiranja Mjeseca. To je bombardiranje očito prestalo prije nešto više od četiri eona, no kako je dugo trajalo prije toga?

Morali bismo analizirati strukturu tijela još manjih od Mjeseca. Što je tijelo manje, to je manja vjerojatnost da bi ono privlačilo fragmente u prvim danima Sunčeva sustava i dulje bi bilo ostalo neuznemiravano.

Doprijeti do takvih malih tijela radi ispitivanja nije nam lako — s jednom iznimkom. Postoje meteori koji povremeno ulaze u Zemljinu atmosferu i sunovraćuju se. Neki su dovoljno veliki da se održe za vrijeme tog prolaza te udaraju o tlo kao meteoriti, a neke je od njih moguće pronaći i proučavati.

Starost meteorita određuje se analizom urana i olova u njima, te također praćenjem polaganog radioaktivnog raspadanja određenoga izotopa rubidija u stroncij te određenoga izotopa renija u osmij. Različite metode sve daju otprilike isti rezultat pa starosti meteorita iznose između 4,4 i 4,6 eona.

Zaključak je, prema tome, da je čitav Sunčev sustav, uključujući i Zemlju, nastao otprilike prije 4,6 eona — odnosno prije 4,600.000.000 godina. Oko 500,000.000 godina poslije toga trajalo je bombardiranje većih tijela fragmentima koje se postupno smanjivalo. Sve od vremena prije nešto više od 4,000.000.000 godina, svjetovi Sunčeva sustava, uključujući i Zemlju, bili su razmjerno mirni. Danas se smatra da se jednostavan život, u obliku primitivnih stanica, vjerojatno razvio na Zemlji još prije 3,500.000.000 godina i da, unatoč povremenim gotovo katastrofalnim razdobljima, život otada nikad nije bio potpuno uništen te da nikad nije morao započinjati nanovo.

Tako su znanstvenici za dva stoljeća potisnuli horizont vremena u prošlost od biblijskih 6.000 godina do 4,600.000.000 kad je riječ o starosti Zemlje — što je povećanje od 760.000 puta.

15

Sva vremena

ŠIRENJE SVEMIRA

No to je, dosad, samo pitanje starosti Sunčeva sustava koji je tek točkica u prostanstvu svemira. Jesu li sve zvijezde u svemiru nastale istodobno kad i Sunce? Je li čitav svemir star 4,6 eona?

Moglo bi se zamisliti da je tako. Moglo bi se također zamisliti da svemir postoji beskrajan broj eona te da su Sunce i njegova obitelj planeta tek novopridošlice. Uostalom, u nebuli Orion postoje zgusnuća koja pršte iskrama briljantnoga života čak i danas kao novorođene zvijezde. A ako je jedna zvijezda rođena danas a druga prije 4,6 eona, zašto ne i još 4,6 eona prije toga?

Bilo je dovoljno teško odrediti starost Zemlje, pa kako je onda uopće moguće odrediti starost svemira? Pa ipak, starost svemira na određeni je način jednostavniji od ta dva problema.

Rješenje za to određenje pojavilo se još 1842. godine, kad je austrijski fizičar Christian Johann Doppler pokazao da se kod zvuka visina tona smanjuje kad se izvor udaljava u odnosu na promatrača, te da visina tona raste kad se izvor približava u odnosu na promatrača.

To je bilo lako protumačiti kad je riječ o zvučnim valovima. Kad se izvor udaljava, valovi se rastežu i postaju duži, a dugi valovi imaju nižu visinu tona od kratkih valova. Kad se izvor približava, valovi se sažimlju i postaju kraći. To se zove »Dopplerov efekt«.

Francuski fizičar Armand H. L. Fizeau (1819—96) pokazao je 1848. godine da to vrijedi i za svjetlost koja je također valna pojava. Ako se izvor svjetlosti udaljava od promatrača, svjetlost koju emitira pomiče se prema dugovalnom crvenom; ako se približava, svjetlost se pomiče prema kratkovalnom ljubičastom. Fizeau je naglasio da se mogu pratiti ti pomaci uspoređivanjem položaja linija u spektru pokretnoga izvora s linijama slične svjetlosti iz nepomičnog izvora.

Budući da je Dopplerov efekt djelovao na svakoj udaljenosti, morao bi vrijediti i za zvijezde. Godine 1868. engleski je astronom William Huggins (1824—1910) pokazao da postoji jasan, iako malen crveni pomak u spektralnim linijama zvijezde Sirius. Na taj je način mogao pokazati kojom se brzinom Sirius udaljava od nas.

Otada su mnoge zvijezde ispitane na taj način pa je otkriveno da se neke udaljavaju a neke približavaju, brzinama koje su varirale između vrlo malih pa sve do 100 kilometara u sekundi.

Kasnije, kad su usavršeni teleskopi i spektroskopi, fotografski su zabilježeni spektri drugih galaksija te proučene spektralne linije. Prvi je to učinio američki astronom Vesto Melvin Slipher (1875—1969). On je 1912. godine izračunao da se galaksija Andromeda približava Sunčevu sustavu brzinom od oko 200 kilometara u sekundi. Potom je nastavio proučavati spektre drugih galaksija (i to u vrijeme kad se još nije shvaćalo da su to galaksije). Otkrio je, na svoje iznenađenje, da se sve osim jedne od njih udaljavaju od nas brzinama znatno većima od brzine zvijezda.

Taj rad nastavili su američki astronomi Edwin Powell Hubble (1889—1953) i Milton La Salle Humason (1891—1972). Oni su nastavili proučavati spektre galaksija i otkrili da se one, bez daljnjih iznimaka, udaljavaju. Uz to, što su bile nejasnije, to su se brže udaljavale.

Hubble je učinio što je mogao da procijeni udaljenost tih galaksija i 1929. godine bio je dovoljno siguran u rezultate da objavi ono što je nazvano »Hubbleov zakon« — da je brzina odmicanja proporcionalna udaljenosti galaksije od nas. Drugim riječima, ako je galaksija A pet puta udaljenija od nas nego galaksija B, tada galaksija A odmiče od nas pet puta većom brzinom. Štoviše, kako se probijalo sve dalje i dalje, otkrivane su brzine odmicanja od tisuća i desetaka tisuća kilometara u sekundi.

Činilo se neobičnim da bi u našoj vlastioj galaksiji postojalo nešto što potiskuje sve ostale galaksije, pri tome djelotvornije gurajući mnogo udaljenije od onih bližih. Zapravo, to nije imalo smisla. Ma što da se događalo, to nije moglo imati nikakve veze s nama.

Zaključak do kojeg se smjesta došlo bio je da se svemir širi; da se sve galaksije udaljavaju jedna od druge. (Zapravo, galaksije su razmještene u zviježđa koje drži zajedno gravitacijsko privlačenje i zviježđa se udaljavaju jedno od drugoga. Uzrok tome što postoje dvije obližnje galaksije koje nam se približavaju jest da su one dio naše lokalne grupe galaksija.)

Prema tome, ako bismo stajali na *bilo kojem* planetu, činilo bi nam se da se sve galaktičke grupe izvan naše vlastite udaljavaju, i što bi bile udaljenije, to bi se brže udaljavale. U *nama* nema ničega osobitog.

Ideja o širenju svemira postala je još atraktivnijom zbog toga što je Einsteinova opća teorija relativiteta, prvi put iznijeta 1916. godine, predskazala da će doći do takva širenja. Širenje svemira smjesta je pružilo način da se odredi kako bi star mogao biti svemir.

Recimo da se osvrnemo unatrag u vrijeme i razmotrimo što se dogodilo sa svemirom. Bilo bi to poput prikazivanja filma unatrag. Ako se svemir širi i postaje sve veći kako odmičemo naprijed u vremenu, tada bi se on sažimao i postajao manjim ako bismo se vraćali unatrag u vrijeme.

Ukoliko je riječ o širenju, možemo zamisliti da bi se ono moglo nastaviti zauvijek, jer, koliko znamo, tamo vani nema nikakve barijere koja bi zaustavila tu ekspanziju bez obzira na to kako daleko išla. Sažimanje je druga stvar. Ako se svemir dovoljno sažme, smanjit će se do volumena nula i dalje od toga ne može. To će morati biti nulto vrijeme, trenutak u kojem je započeo svemir.

Takvo nešto razmatrao je jedan belgijski astronom, Georges Lemaitre (1894—1966) još i prije nego što je Hubble objavio svoj zakon. Lemaître je 1927. godine iznio mišljenje da je u vrlo dalekoj prošlosti svemir imao sve svoje mase — sve svoje galaksije — sabijene u mali volumen; o tom je malom volumenu govorio kao o »kozmičkom jajetu«. Ono je eksplodiralo u silovitu kataklizmičkom prasku koji je stvorio svemir kakav poznajemo. Galaksije koje jure prema van još izražavaju snagu te početne eksplozije. Rusko-američki

fizičar George Gamow (1904—68) koji se suglasio s tim, nazvao je eksploziju kozmičkog jajeta »velikim praskom« i taj se izraz ustalio.

Tu ideju nisu prihvatili svi. Gamow je, međutim, 1940-ih godina istakao da je svemir na početku morao biti malen i nezamislivo vruć. Zračenje koje je emitirao bilo bi krajnje kratkovalno i snažno. No kako se svemir širio i hladio, zračenje bi postupno postajalo dugovalnije. Do danas bi svemir bio tako velik i tako hladan da bi zračenje bilo mikrovalne dužine. Prema tome, astronomi bi morali otkriti slabe pozadine mikrovalnog zračenja u svim smjerovima podjedako.

U 1940-im godinama, kad je Gamow to objelodanio, astronomi nisu imali instrumenata koji bi bili u stanju registrirati takvo nešto — ali tehnika radioastronomije naglo se razvijala. Godine 1965, dva američka fizičara — Arno A. Penzias (1933—) i Robert W. Wilson (1936—) — otkrila su mikrovalno zračenje pozadine i zapazila da ono dolazi iz svih smjerova. Nakon toga su astronomi općenito prihvatili ideju velikog praska.

Pitanje je: kad se dogodio veliki prasak? Ako to označimo kao početak svemira, odgovor na to pitanje dat će nam i starost svemira.

Pretpostavimo da se brzina odmicanja neke galaksije povećava za jedan kilometar u sekundi na svakih dodatnih 6.500 svjetlosnih godina njezine udaljenosti. To znači da bi galaksija koja je udaljena od nas 6,500.000 svjetlosnih godina odmicala brzinom od 1.000 kilometara u sekundi. Kad je ona, promatramo li unatrag u vremenu, bila točno iznad nas?

Ako je ta galaksija putovala od neke točke blizu nas do točke udaljene 6,500.000 svjetlosnih godina brzinom od 1.000 kilometara u sekundi, bilo bi joj potrebno 2,000.000.000 godina da prijeđe tu udaljenost.

Nadalje, galaksija udaljena od nas dvostruko više udaljavala bi se dvostruko brže i trebalo bi joj 2,000.000.000 godina da prijeđe tu dvostruku udaljenost svojom dvostrukom brzinom. Neki objekt deset puta udaljeniji udaljavao bi se deset puta brže pa bi i njemu trebalo 2,000.000.000 godina.

Drugim riječima, ako se sve galaksije udaljavaju od nas brzinom koja se povećava za jedan kilometar u sekundi na svakih dodatnih 6.500 svjetlosnih godina, tada bi se *sve* galaksije, gledamo li unatrag u vremenu, skupile zajedno u

kozmičko jaje prije 2,000.000.000 godina. Veliki bi se prasak zbio prije dva eona i svemir bi bio star dva eona.

Hubbleove prve brojke doista su i dale taj rezultat, pa su geolozi još jedanput bili suočeni s nemogućim. Pedeset godina prije toga oni nisu mogli prihvatiti Kelvinovu brojku od 25,000.000 godina za starost Zemlje, jer su znali da je Zemlja starija od toga. Tada, 1930-ih godina, nisu mogli prihvatiti Hubbleovu brojku od 2,000.000.000 godina jer su, zahvaljujući »radioaktivnom satu«, znali da je Zemlja znatno starija od *toga*, a ona ne bi mogla biti starija od svemira.

Jedna od najboljih metoda što ih je Hubble imao za određivanje udaljenosti bližih galaksija sastojala se u iskorištavanju stanovitih promjenljivih zvijezda nazvanih »cefeide«.

Još 1912. godine, američka astronomka Henrietta Swan Leavitt (1868—1921) pokazala je da je zvijezda toliko sjajnija koliko je dulje razdoblje promjenljivosti intenziteta prema jednoj određenoj formuli. Ako je Hubble zapazio da se neka cefeida može razabrati u određenoj galaksiji, tada je znao prema njezinu periodu koliko je sjajna. Iz njezina je sjaja mogao izračunati kako će se blistavom pokazati na bilo kojoj udaljenosti. Iz njezine je konkretne pojave blistavosti mogao potom izračunati njezinu udaljenost.

Godine 1942. njemačko-američki astronom Walter Baade (1893—1960) iskoristio je ratna zamračenja da bi podrobno proučavao galaksiju Andromeda. Otkrio je da postoje različite vrste cefeida. Formula Henriette Leavitt vrijedila je za jednu vrstu, ali ne i za druge, a uz pomoć tih drugih Hubble je određivao udaljenosti.

Za druge vrste cefeida izrađene su nove formule, pa se pokazalo da su galaksije oko deset puta udaljenije nego što je mislio Hubble. Ali, njihove brzine udaljavanja bile su iste kao što se i prije mislilo. Ta se brzina izračunavala izravno spektroskopom i nije ovisila o cefeidama ili njihovim vrstama.

Pokazalo se da bi, pri istoj brzini odmicanja, bilo potrebno deset puta dulje da se prijeđu deset puta veće udaljenosti galaksija u svakoj galaktičkoj grupi. Takvom bi svemiru bilo potrebno ne 2,000.000.000 godina da se sažme do točke, već 20,000.000.000 godina. To bi značilo da se veliki prasak zbio ne prije dva eona, već prije dvadeset eona.

To bi, međutim, bilo tako samo kad bi brzina udaljavanja ostala ista bez obzira na to koliko se daleko vratili u prošlost. A nije vjerojatno da je to točno.

Kad je nastao veliki prasak, različiti fragmenti kozmičkog jajeta prsnuli su prema van nasuprot gravitacijskoj sili svih njegovih dijelova. Pri tome širenju, brzina odmicanja morala se usporavati zbog stalnoga djelovanja sveukupnoga gravitacijskog polja svemira. Upravo sada svemir se mora širiti sporije nego ikad prije.

Budući da se svemir širi sve sporije i sporije, tada, osvrnemo li se unatrag u vrijeme, vidjeli bismo da se svemir sažima sve brže i brže — kao što mora biti, jer kako se smanjuje, tako njegova gravitacijska sila postaje snažnijom. Budući da se dakle ubrzava, to znači da se spaja za manje od dvadeset eona.

Prihvatljiva procjena, prema tome, uzme li se u obzir djelovanje gravitacije, jest da se veliki prasak dogodio prije petnaest eona, tako da je svemir star 15,000.000.000 godina.*

Iz toga slijedi da je svemir bio star nešto više od deset eona kad je nastao Sunčev sustav te da je trajao dvije trećine svoje današnje egzistencije bez Zemlje.

Ako je Zemlja 760.000 puta starija od pretpostavke Jamesa Usshera zasnovane na bibliji, svemir kao cjelina stariji je 2,500.000 puta.

SMRT SUNCA

Reklo bi se da ne možemo ići dalje u smjeru prošlog vremena, jer se ništa ne može nalaziti iza svega što smo u stanju zapaziti. No kako je s drugim smjerom? Kako je s horizontom budućega vremena?

Činilo bi se da je tamo za nas sve trajno prekriveno tajnom. Možemo se sjećati prošlosti, proučavati zapise o njoj kako su ih sačuvala ljudska bića koja su živjela prije nas, zaključivati o prošlosti prema onome što vidimo i zapa-

* Oko toga je bilo nekih neslaganja i nedavno su neki astronomi iznijeli dokaze u prilog starosti od devet eona, ali drugi su pak astronomi ustrajali na starosti većoj od petnaest eona. Do novih podataka, možda bi bilo razborito ostati pri petnaest eona.

žamo u sadašnjosti — no što, zaboga, možemo učiniti s budućnošću?

Zapravo, iako nemamo kristalnu kuglu te ne možemo sa sigurnošću predvidjeti točnoga pobjednika sutrašnjih konjskih trka, ili koga će točno od nas pregaziti automobil ili tko će se u dogledno vrijeme upoznati s nekim privlačnim pripadnikom suprotnog spola, ipak su nam dostupna neka općenita proricanja.

Primjerice, na temelju svih statističkih podataka što ih imamo o broju rođenja, smrti i životnim vijekovima, možemo predvidjeti da se od svakih 100.000 šezdesetogodišnjih ljudskih bića određen broj umrijeti unutar godine dana, a da će određen broj proživjeti još pet godina — i kako vrijeme prolazi, vjerojatno će se pokazati da smo uglavnom imali pravo. Ne možemo točno reći koji će ljudi umrijeti a koji preživjeti, no i statistička predviđanja mogu biti korisna.

Možemo li promotriti Zemlju i procijeniti kad će ona umrijeti, ili barem kad više neće biti nastanjiv svijet?

Postoje, dakako, mogućnosti kataklizmi koje bi poremetile redovito odmicanje zbivanja i otežale predviđanja, no čak se i kataklizme mogu uzeti u obzir, na neki način.

Na primjer, postoji stanovit broj objekata veličine planina što jure oko Sunca orbitama koje ih dovode unutar nekoliko milijuna kilometara od Zemljine orbite, i prigodice se ti objekti i Zemlja nalaze na točkama u svojim orbitama koje ih dovode u priličnu međusobnu blizinu. Takvi se objekti zovu »Zemljini okrsci«. Jedan od njih, promjera oko kilometra, prošao je 1937. godine oko 400.000 kilometara od Zemlje.

Kad bi njihove orbite bile nepromjenljive, takvi nas objekti ne bi nikad dotakli, no oni su pod neprekidnim slabim utjecajem Zemljine gravitacijske sile i sile drugih planeta kojima se približavaju, pa su tako njihove orbite stalno modificirane i stoga je moguće da se jednoga dana orbita takva nekog uljeza presijeće s orbitom Zemlje, te taj objekt i Zemlja mogu konačno dospjeti do sjecišta istodobno. Astronomi mogu izračunati da do takvog jednog incidenta može doći u prosjeku jedanput u svakih toliko i toliko milijuna godina.

Jedan takav sudar, po svemu sudeći, dogodio se prije otprilike 65,000.000 godina (navedeno je 1980. godine) i uzvitlao takav oblak prašine da je Sunce u znatnom opsegu bilo zasjenjeno tri godine. Kao posljedica toga, uništena je ve-

ćina vegetacije, kao i većina životinja. Svi dinosaurusi i određen broj drugih vrsta životinja bili su zatrti pa Zemlja bijaše zamalo sterilizirana. (To je, koliko znamo, najbliže onoj vrsti »katastrofa« što ih je sugerirao Bonnet prije dva stoljeća.) Neki su oblici života ipak preživjeli katastrofu i oni su bili precima svih oblika što žive danas, uključujući i nas, no to je bio spas »za dlaku« — i moglo bi se opet dogoditi.

Takve su kataklizme, međutim, vrlo nepredvidive. Nešto strašno moglo bi se dogoditi iduće godine, ili niti za milijun godina, ili (posve moguće) nikada. Postoje li neki *neizbježni* događaji koji bi značili kraj Zemlje, kao što su događaji prije 4,6 eona označili njezin početak?

Kad bi se radilo samo o Zemlji, vjerojatno ne postoje. Kad bismo mogli zamisliti da će Zemljina okolica ostati posve ista kakva je sada, dovoljno blaga za održavanje planeta punog života, tada bi Zemlja mogla potrajati kakva jest, zauvijek.

No hoće li Zemljina okolica ostati blaga i dobroćudna? Daleko najveći utjecaj na Zemlju ima Sunce. Sunčevo zračenje grije Zemlju i pribavlja energiju za gibanja zraka i vode, energiju koju biljni svijet pretvara u tkivo, osiguravajući tako hranu za životinjski svijet i tako dalje. Kad je prije 65,000.000 godina zbog sudara s jednim asteroidom najveći dio Sunčeve svjetlosti bio tri godine blokiran, Zemlja je bila zamalo sterilizirana.

Možemo li se pouzdati u to da će Sunce potrajati vječno?

Nipošto!

Sama Zemlja nalazi se u stanju ravnoteže. Postoje pomaci kore, vulkani, potresi, nastanci planina, erozije, struje u njezinoj rastaljenoj jezgri i magnetska polja u obližnjem svemiru, no to *nisu* progresivne stvari. Te se promjene ne odvijaju samo u jednom smjeru, već se kolebaju oko nekog prosjeka.

Sunce je bitno drukčije. Ono gubi energiju u ogromnim količinama, prosipajući je u svemir bez mogućnosti obnavljanja, trenutak za trenutkom, godinu za godinom, eon za eonom. Kao što je Helmholtz prvi shvatio, ta energija mora odnekud potjecati, i bez obzira na to odakle dolazila, jednoga će dana morati biti potrošena.

Kad bi na Suncu sagorijevao ugljen, i kad bi započinjalo netaknuto upravo sada, ono bi za 1.500 godina bilo hladan

pepeo, ako bi neprekidno odašiljalo energiju na sadašnjoj razini.

Ako bi dobivalo energiju sažimanjem, pri sadašnjoj razini proizvodnje energije trebalo bi samo 9,250.000 godina da se smanji sa sadašnje svoje veličine do ničega.

U oba slučaja, da je Sunce počelo isijavati energiju u trenutku svoga nastanka prije 4,6 eona, bilo bi mrtvo i iščezlo već prije gotovo jednako toliko vremena.

Naravno, Sunce održava nuklearna energija, a ona može trajati mnogo, mnogo dulje od bilo kojeg drugog izvora energije — no čak ni »mnogo, mnogo duže« nije zauvijek. Kako će dugo potrajati zalihe Sunčeve nuklearne energije?

To ovisi točno o tome kakva je priroda te nuklearne energije, naravno. Osnovne pojedinosti razradio je njemačko-američki fizičar Hans Albrecht Bethe (1906—) 1938. godine.

U solarnoj jezgri, temperatura je dovoljno visoka — oko 15,000.000°C kao što je prvi izračunao Eddington početkom 1920-ih godina — da bi se atomi sudarali strahovitom snagom. Najveći dio Sunca čini vodik, a vodikovi atomi, kad se sudaraju, spajaju se u nešto malo veće atome helija. Taj se proces zove »vodikova fuzija«.

Helij nastao tijekom vodikove fuzije ima masu koja je 0,71 posto manja od mase vodika od kojeg je nastao. Taj gubitak mase pretvara se u energiju.* Fizičari znaju koliko energije odgovara tom gubitku mase pa računaju da se 588,000.000.000 kilograma vodika mora pretvoriti u helij *svake sekunde* da bi Sunce emitiralo energiju u sadašnjem opsegu.

To zvuči kobno, kao da Sunčeve zalihe vodika ne bi mogle potrajati vrlo dugo. Međutim, 588,000.000.000 kilograma helija predstavlja samo 3×10^{-18} (to jest, tri kvintilijuntnine) mase Sunca.

Ako je Sunce započelo kao lopta čistoga vodika i ako je pretvaralo vodik u helij sadašnjim ritmom svih 4,6 eona koliko dosad postoji, dosad bi bila potrošena samo jedna dvadesetina Sunčevih zaliha, pa bi Sunce moglo nastaviti istim ritmom još oko osamdeset i sedam eona.

---

* Masa je jedan oblik energije, tako da pretvaranje ne narušava zakon očuvanja energije, nešto što je Einstein prvi istakao u svojoj specijalnoj teoriji relativiteta 1905. godine.

Međutim, to baš nije posve tako. Sunce *nije* započelo kao lopta čistoga vodika, jer, kao prvo, kad se zbio veliki prasak, on je stvorio svemir koji je već u početku sadržavao znatne količine helija. Do trenutka nastanka Sunca, deset eona poslije velikoga praska, još uvijek je bilo manje vodika a više helija.

Kad je, prema tome, Sunce nastalo, čini se da je sadržavalo 80 posto vodika i 20 posto helija, a danas sadrži 75 posto vodika i 25 posto helija. Ako bi se vodik koji je danas preostao nastavio trošiti sadašnjom stopom dok posve ne nestane, tada bi Sunce nastavilo sjati kao što to čini još oko šezdeset i osam eona.

Nažalost, čak je i to precijenjeno, jer bitno je ono što se događa u jezgri Sunca, gdje je temperatura dovoljno visoka za fuziju, a ne na Suncu kao cjelini. Kako se fuzija nastavlja, Sunčeva jezgra postaje daleko bogatija helijem od Sunca u cjelini. Jezgra postaje gušća i gušća, sažima se te postaje sve toplijom. Jednoga dana, čak ako ostatak Sunca ostane uglavnom kakav je i danas, jezgra će biti toliko vruća da će zbog toga doći do fuzije helija u još masivnije oblike tvari, a tako stvorena toplina prisilit će Sunce da se silno proširi.

To će širenje rashladiti površinu Sunca do običnoga crvenog žara, no ukupno zračenje što će ga emitirati ta mnogo veća površina (jer će Sunce ekspandirati do opsega milijun puta većeg od sadašnjega) bit će ogromno i, naravno, uništit će Zemlju. U tome ekspandiranom stanju Sunce će biti »crveni div«.

Ta promjena nije samo stvar teorije. Na nebu postoji određeni broj crvenih divova — ogromnih zvijezda koje su narijetko raštrkane velikim prostranstvom i koje crvenkasto svjetlucaju. Betelgeuse, Antares i Mira tri su najpoznatija primjera.

Nakon što se Sunce, ili bilo koja zvijezda, proširi u crvenog diva, ono prolazi kroz druge faze od kojih su sve razmjerno kratke u usporedbi s dugim razdobljem u kojem je ostalo u »glavnoj sekvenci« — naime, s razdobljem u kojem je vodikova fuzija glavni izvor energije, što je slučaj sa Suncem upravo sada.

Moramo se, prema tome, zapitati: kako dugo neka zvijezda, a osobito Sunce, ostaje u glavnoj sekvenci? Samo tije-

kom toga razdoblja Zemlja može ostati nastanjivim svijetom.

Proizlazi da dužina vremena u kojem zvijezda ostaje u glavnoj sekvenci ovisi o njezinoj masi. Što je veća masa zvijezde, to je veća masa njezina vodika. No, što je veća masa zvijezde, to je veća stopa kojom mora nastajati vodikova fuzija kako bi se zvijezda zagrijavala do točke na kojoj ostaje ekspandirana te ne propada pod utjecajem vlastite gravitacijske sile.

Stopa nužne vodikove fuzije povećava se mnogo brže, s povećanjem mase zvijezde, nego što se povećava zaliha vodika. To znači da, što je zvijezda masivnija, trošenje vodika brže stiže do točke gdje počinje faza crvenog diva. Drugim riječima, što je zvijezda masivnija, to će kraće ostati u glavnoj sekvenci.

Najmasivnije poznate zvijezde ostat će u glavnoj sekvenci samo 1,000.000 godina ili manje. Sirius, najsjajnija zvijezda na našemu nebu, umjerene veličine jer je 2,5 puta masivnija od Sunca, plaća za svoju masu time što će ostati u glavnoj sekvenci ukupno samo 500,000.000 godina — pol eona.

Da je Sunce masivno kao Sirius, ono bi ušlo u fazu crvenog diva prije 4,1 eona i život na Zemlji teško da bi imao mogućnosti stvoriti čak i najprimitivnije stanične oblike prije nego što bi Zemlja postala nepodobnom za nastavanje. (Naravno, Zemlja bi bila morala biti mnogo dalje od toga masivnijeg sunca nego što je danas od stvarnoga Sunca, jer inače planet možda uopće nikad ni ne bi bio pogodan za život.)

Sunce će, s obzirom na njegovu stvarnu masu, ostati u glavnoj sekvenci, kako je izračunato, ukupno najviše oko dvanaest eona. Budući da ono već postoji 4,6 eona, preostaje još 7,4 eona. Tijekom tog razdoblja ono će se polako još više zagrijavati pa će posljednji eon otprilike možda biti prevruć za život na Zemlji.

Sunce, prema tome, možemo smatrati zvijezdom srednje starosti; vrijeme koje mu je preostalo kao objektu što zagrijava život iznosi samo nešto malo više od onoga koje je već proteklo. Čak ako čovječanstvo (i njegovi evoluirani nasljednici) uspiju sačuvati Zemlju kroz sve njezine krize, Zemlja kao nastanjiv svijet mora doživjeti konac za, recimo, 6,000.000.000 godina.

No Sunce je samo jedna zvijezda od nekih 300,000.000.000 zvijezda u našoj galaksiji, uz ogromne brojeve u još do 100,000.000.000 drugih galaksija što postoje. Možda će se čovječanstvo, mnogo prije nego što Zemlja kao nastanjiv planet dođe svome kraju, proširiti na planete koji kruže oko neke druge zvijezde. Ili, ako to ne uspije, možda postoje drugi inteligentni oblici života, ili sada ili oni koji će se razviti u budućnosti, što će i dalje napredovati nakon što nama dođe konac.

Zapravo, ne trebamo biti toliko usredotočeni na inteligenciju da bismo bili zaokupljeni time postoji li inteligentni život (ili uopće život) ili ne postoji. Same će zvijezde sjati, i možda je to samo za se dostatno da označi svemir u cijelosti još živim. Koliko će dugo zvijezde općenito sjati nakon što naše Sunce odživi svoj nestalni život i nestane?

Dakako, do trenutka kad naše Sunce napusti glavnu sekvencu, sve zvijezde koje sad postoje i koje su masivnije od njega već će prije toga napustiti glavnu sekvencu — no samo je oko 4 posto zvijezda u našoj galaksiji masivnije od Sunca. Još oko 9 posto ima ih otprilike jednaku masu kao i Sunce te će napustiti glavnu sekvencu malo prije ili malo kasnije, ovisno o tome kad su nastale.

To ostavlja oko 87 posto zvijezda u našoj galaksiji (a vjerojatno i u svim galaksijama) koje su izrazito manje od Sunca i koje će ostati u glavnoj sekvenci znatno dulje od dvanaest eona. Većina od njih ima razdoblja glavne sekvence znatno dulja od vremena koje je proteklo poslije velikog praska pa je lako moguće da su rođene kao zvijezde u prvim danima svemira, a ipak su još relativno mlade.

Najmanje masivne zvijezde koje postoje, zvijezde tako male da stvaraju upravo dovoljno pritiska i temperature u svojim jezgrama za početna paljenja nuklearnih tvari, i koje sjaje samo blijedom crvenom svjetlošću (one su manji »crveni patuljci«), troše svoj vodik tako štedljivo da, unatoč razmjerno maloj zalihi fuzibilnog materijala, mogu ostati u glavnoj sekvenci čak 200 eona.

No to uzima u obzir samo zvijezde koje sada postoje. Naravno, neprekidno nastaju i nove zvijezde. Samo je Sunce nastalo prije manje od pet eona, kad je svemir već bio star deset eona, a neke zvijezde nastaju sada čak pred našim

očima. Zar neće zvijezde i dalje nastajati kroz beskrajna razdoblja u budućnosti, tako da će čak i poslije 200 eona, kad i zadnja zvijezda što sad postoji napustiti glavnu sekvencu, galaksije i dalje plamsati drugim zvijezdama od kojih nijedna danas ne postoji?

Istina je da su veliki brojevi zvijezda nastajali tijekom cijeloga postojanja svemira, da nastaju sada i da će i dalje nastajati u budućnosti. No mogućnosti takvih zbivanja mogu se postupno smanjivati.

Glavni izvor formiranja novih zvijezda jesu ogromni oblaci prašine i plina koji postoje tu i tamo u svemiru. No ta je zaliha, ma kako ogromna, ipak ograničena. Postoje »eliptične galaksije« u kojima praktički nema prašine i plina vrijednih spomena. Čak i u »spiralnih galaksija« (kakva je naša) koje su bogate prašinom i plinom, to je bogatstvo ograničeno na spiralne krakove. Ni jezgra ni globularni grozdovi koji, zajedno, čine devet desetina mase takve jedne galaksije, ne sadrže mnogo prašine i plina.

Broj zvijezda koje mogu nastati u budućnosti od tih sirovina može prema tome iznositi samo nekoliko postotaka od svih zvijezda nastalih u prošlosti.

To bi ipak značilo oko 10,000.000.000 zvijezda samo u našoj galaksiji, no iako se to čini velikim brojem, ipak je malo u usporedbi sa zvijezdama koje postoje danas. Nakon što prođe 200 eona i sve zvijezde koje danas postoje izađu iz glavne sekvence, blistavost galaksije (koja ovisi gotovo potpuno o zvijezdama u glavnoj sekvenci) iznosit će samo 1/30 današnje, a poslije 400 eona samo 1/1.000 današnje.

Postoje, međutim, načini da se zvijezde, barem djelomično, pretvore opet u prašinu i plin.

Nakon što se zvijezda pretvori u crvenog diva, u njezinoj se jezgri nastavljaju fuzijske reakcije, dok nastaju sve složeniji elementi i dok se osnovna zaliha vodika stalno smanjuje. Prije ili kasnije, jezgra postaje teška od željeza. Kad se jedanput u jezgri formira željezo, više nema mogućnosti ni za kakvu nuklearnu reakciju koja bi oslobađala energiju. Željezo je, da tako kažemo, konačni pepeo zvjezdane aktivnosti.

To znači da nema dovoljno proizvedene energije u jezgri gdje se dotad aktivno odvijala fuzija da bi zvijezda i dalje ostala u ekspandiranu stanju nasuprot svojoj gravitacijskoj sili, pa se ona naglo sažima. Nastaje zapravo kolaps zvijezde.

Pri kolabiranju zvijezde, njezina se kinetička energija pretvara u toplinu, kao što je istakao Helmholtz, a temperatura joj naglo raste do ogromne visine. Većina vodika, kojega čak i u toj fazi ima izobilje izvan jezgre, sada doživljava fuziju. No, ta provala sjaja brzo prolazi i propala zvijezda mirno se hladi, jer nema nikakva drugog izvora topline.

Što je zvijezda masivnija, to je njezin kolaps katastrofalniji, trenutačna blistavost veća i u konačnom je stanju sitnija.

Zvijezde s masom poput Sunčeve ili manjom propast će razmjerno mirno i izgubiti malo mase u tom procesu. Od njih će nastati takozvani »bijeli patuljak« veličine malog planeta, iako će zadržati svu masu zvijezde, jer će atomi propasti i njihovi će fragmenti biti mnogo zbijeniji nego što bi bili da su atomi ostali nedirnuti.

Bijeli patuljak je »bijel« zato što plamsa bijelim žarom na površini neposredno nakon kolapsa, isijavajući mnogo više topline po četvornom metru nego što bi zračila obična zvijezda. Količina isijavanja, međutim, opada, u početku naglo, a potom sve sporije. Proći će više eona prije no što bijeli patuljak prestane emitirati vidljivu svjetlost i dovoljno se rashladi da bi bio taman, no to će se na kraju dogoditi.

Pa ipak, ma kako vruć i sjajan bio bijeli patuljak po svakoj prostornoj jedinici svoje površine, on je tako malen da je ukupna količina svjetlosti što je emitira mnogo manja nego u obične zvijezde. Kad jedanput Sunce kolabira i pretvori se u bijelog patuljka, što će se dogoditi poslije faze crvenog diva, njegova ukupna blistavost bit će samo 1/10.000 današnje. Tako će biti negdje na početku vijeka bijeloga patuljka, a s njegovim starenjem blistavost će se stalno dalje smanjivati.

Zvijezde koje su izrazito masivnije od Sunca kolabiraju tako katastrofalno da eksplodiraju i izbacuju nešto svoje mase u međuzvjezdani prostor. Tako izgubljena količina mase može se kretati između nekoliko postotaka za zvijezde ne mnogo veće od Sunca, do 95 posto za prave divove koji su pedeset puta masivniji od Sunca. Takve eksplozije dovode da »supernova« koje se stalno pojavljuju tu i tamo u svemiru, a neke privremeno sjaje tako blistavo kao čitava jedna galaksija običnih zvijezda.

Supernove, poslije eksplozije, kolabiraju i pretvaraju se u objekte daleko zgusnutije od bijelih patuljaka i daleko

manje sjajne. One se sažimaju do neutronskih zvijezda ili crnih rupa, a za njih se može reći da uopće ne pridonose blistavosti neke galaksije.

Supernove pridonose zalihama prašine i plina u svemiru i značajne su za nastanak zvijezda sa tri aspekta.

1. One povećavaju količinu sirovina, naravno.

2. Udarni val eksplozije može pokrenuti val sažimanja u nekom oblaku prašine i plina koji eventualno postoji u blizini supernove. To pokreće formiranje zvijezde, ili čak formiranje čitavoga zviježđa.

3. Prašina i plin supernove bogati su masivnim atomima koji su se formirali u jezgri zvijezde, a oni su bitni za eventualni nastanak života.

Nijedan atom osim vodikova i helijeva, dvaju najjednostavnijih, nije nastao u vrijeme velikog praska, već je nastao u unutrašnjosti neke zvijezde i raspršio se svemirom kao rezultat zvjezdane eksplozije. Oko 1,5 posto Sunčeve mase sastoji se od drugih atoma osim vodika i helija, i oni potječu od eksplozije zvijezda koje su postojale, i eksplodirale, prije nastanka Sunca i njegove planetarne obitelji. Čitava Zemlja, osim male količine vodika i mrvičaka helija, nastala je od tvari koja je nekad bila u jezgrama zvijezda, a to vrijedi i za sve atome živoga tkiva (uključujući i naše) koji nisu vodikovi — što znači 90 posto ukupne mase.

Pa ipak, supernove nipošto ne jamče beskrajno nastavljanje blistavoga svemira.

Ponajprije, broj zvijezda dovoljno velikih da eksplodiraju i povećaju količinu prašine i plina u svemiru razmjerno je malen. Manje od jedan posto svih zvijezda ima dovoljne mase da bi nastala doista spektakularna eksplozija (iako je to ipak 3,000.000.000 zvijezda samo u našoj galaksiji — a milijarde drugih postojale su u prošlosti i mnoge će još postojati u budućnosti).

Drugo, prašina i plin koje raspršuju svemirom pri eksploziji razmjerno su siromašni vodikom i bogatiji težim jezgrama.

Teži elementi mogu biti bitni za nastanak planeta sličnih Zemlji i za nastanak života, ali oni *nisu* značajno fuzijsko gorivo. Jedino značajno fuzijsko gorivo je vodik, a on se neprekidno troši i *ne* obnavlja se, čak ni pri eksplozijama supernovâ.

Zapravo, oblaci prašine i plina koji se sažimaju u zvijezde kako svemir stari neprekidno postaju sve siromašniji vodikom i bogatiji drugim elementima, tako da zvijezde koje nastaju imaju manje potencijalnoga vremena u glavnoj sekvenci.

Unatoč nastanku novih i eksplozijama starih zvijezda, naša galaksija, i sve galaksije, postupno tamne te će poslije, recimo, 400 eona biti praktički mrtve sa stajališta blistavosti. Galaksije će se sastojati od bijelih patuljaka koji se hlade, od neutronskih zvijezda, od sve većih crnih rupa i, naravno, od beskrajnoga broja malih, hladnih planetarnih tijela.

Od zvijezda u glavnoj sekvenci koje blistavo sjaje poput našega Sunca, tek će poneka biti tu i tamo raspršena. Zamislimo li da netko promatra naš svemir kakav je danas — sa razasutih stotinu milijardi galaksija s ukupno deset milijardi bilijuna zvijezda — pa da potom promatra svemir za 400 eona od danas, s ponekom njegovom osamljenom iskrom svjetlosti, mogli bismo mu oprostiti ako bi pomislio da je svemir umro.

Situacija bi bila još gora kad bi se svemir — koji se sada širi — nastavio beskrajno širiti. Svaka umiruća galaktička grupa tada bi nastavila odmicati sve dalje i dalje od svake druge umiruće galaktičke grupe, tako da bi 400 eona od danas preostale iskrice svjetlosti bile međusobno raspršene oko dvadeset i pet puta jače nego što bi bile da je svemir ostao kakav je danas. Tmina bi, prema tome, bila još gušća.

SAŽIMANJE SVEMIRA

No *hoće* li se širenje svemira nastaviti zauvijek?

Svemir se širi nasuprot ukupnoj gravitacijskoj sili tvari u svemiru pa se stoga stopa ekspanzije smanjuje. No, i gravitacijska sila slabi kako se svemir širi prema van.

Ono što se događa analogno je onome što se zbiva kad se raketa uzdiže nasuprot Zemljinoj gravitaciji. Ako raketa krene dovoljno velikom brzinom, većom od Zemljine brzine umicanja, uspjet će ostati ispred gravitacije, da tako kažemo. Brzina se smanjuje, ali sve slabija gravitacijska sila nikad je neće uspjeti posve usporiti do zaustavljanja.

Ako je svemir bio odbačen prema van, početnim velikim praskom, brzinom većom od svemirske brzine umicanja, on će se širiti zauvijek. Ako je brzina bila manja od brzine umicanja, ekspanzija će se na kraju zaustaviti i svemir će se opet početi sažimati.

Ako se svemir ponovno sažima, brzina sažimanja stalno će se povećavati, tako dugo dok se sve u svemiru ne spoji u »veliki čvor«. Nakon što je vjerojatno započeo kao objekt nevjerojatno malen i nevjerojatno vruć, svemir bi mogao i završiti na isti način. U tom procesu ništa neće biti izgubljeno. Neće se skupiti samo čitava masa svemira, već također i ukupno nematerijalno zračenje.

Moguće je da veliki čvor pokrene novi veliki prasak koji će stvoriti novi ekspandirajući svemir vodika i helija, tako da će čitav proces nanovo započeti. U tom slučaju, možemo govoriti o beskrajnom broju uzastopnih svemirâ, gdje bi svaki bio odvojen od onoga prije i onoga poslije jednim velikim čvorom/praskom.

Koliko bi vremena razdvajalo svaki veliki čvor/prasak u tom slučaju? To je teško reći. To ovisi o tome koliko se sporije od brzine umicanja odvija svemirska ekspanzija. Koliko je ona sporija od brzine umicanja, toliko je kraći interval između velikog čvora i velikog praska.

Taj bi interval, naravno, morao biti dulji od trideset eona, jer je sad prošlo petnaest eona od posljednjega velikog čvora/praska, a svemir se još širi.

Pretpostavimo da taj interval iznosi 1.000 eona ili 1,000.000.000.000 godina.

U tom slučaju, poslije 400 eona, svemir bi mogao djelovati mrtvo, no to bi bio samo privid. Brzina njegova širenja usporila bi se do gmizanja i, poslije 500 eona, on bi došao do trenutačnog zastanka, iako bi eone prije toga i eone poslije toga svako gibanje (najprije prema van, poslije prema unutra) bilo premalo da bi se moglo zapaziti.

Polako, s prolaženjem eona poslije te velike mrtve točke, svemir bi se sažimao sve brže i brže, sve dok ne bi došlo vrijeme za veliki čvor i potom za još jedan veliki prasak i provalu prema van.

No hoće li se to uopće dogoditi? Nije li moguće da je svemir »otvoren«; da je brzina ekspanzije u vrijeme velikog praska bila iznad svemirske brzine umicanja, tako da će se sve-

mir širiti zauvijek te neće samo umrijeti, već će i ostati mrtav?

To je prijeporno pitanje. Astronomi procjenjuju da bi prosječna gustoća svemira (ako se tvar svih zvijezda i svih drugih objekata jednoliko rasporedi) morala odgovarati ekvivalentu od oko tri vodikova atoma na kubični metar, da bi brzina ekspanzije svemira bila ispod brzine umicanja. To bi odgovaralo gravitacijskom polju upravo dovoljno intenzivnom da jednoga dana zaustavi širenje i »zatvori« svemir.

Kad bi prosječna gustoća bila još veća, širenje bi bilo još brže zaustavljeno. Što je veća prosječna gustoća, to je kraći interval između svakog velikog čvora/praska.

U stvarnosti, međutim, astronomi su, na temelju najbolje moguće procjene prosječne gustoće svemira, zaključili da taj prosjek iznosi samo oko jedan posto onoga što bi bilo potrebno da se svemir zatvori. Ako je tako, tada jednostavno nema dovoljno gravitacijske sile da bi se zaustavila ekspanzija. Svemir je otvoren, širit će se zauvijek i ostat će mrtav.

Razmotrimo, međutim, stvarno ustrojstvo svemira. Atomi koji sačinjavaju svemir sastavljeni su uglavnom od čestica što se zovu »protoni«, »neutroni« i »elektroni« (kojima ćemo se vratiti kasnije u knjizi). K tome, postoje »fotoni« koji su fundamentalne jedinice svjetlosti i drugog sličnog zračenja. Konačno, postoje sićušne čestice nazvane »neutrina«.

Ako bi sva tvar u svemiru bila jednoliko raspoređena i ako bismo uzeli volumen od 30 kubičnih metara, prema najboljim današnjim procjenama taj će volumen sadržavati jedan proton, jedan elektron, 1,000.000.000 fotona i 3,000.000.000 neutrina.

Razmotrimo svaku tu česticu zasebno. U zamjenu za proton, mogućnosti su jedan prema deset da umjesto njega bude neutron. Ali, neutron ima masu otprilike jednaku kao i proton pa to ne bi utjecalo na prosječnu gustoću i možemo govoriti samo o protonima, radi jednostavnosti.

Elektron ima samo 1/1.836 mase protona pa tako njegova prisutnost ili odsutnost utječe na prosječnu gustoću svemira samo sa 1/20 jednoga postotka, a to možemo zanemariti.

Foton nema mase mirovanja; naime, on uopće ne bi imao mase kad bi mirovao u odnosu na svemir općenito. On se, međutim, giba vrlo brzo i ima energetski sadržaj. Taj je sadržaj energije sâm ekvivalent stanovitoj količini mase, ali ne velikoj. Masa izražena sadržajem energije neke čestice

daleko je manja od mase mirovanja neke čestice poput protona. Zapravo, energija čitave jedne milijarde fotona u 30 kubičnih metara mnogo je manja izražena kao ekvivalent mase od mase mirovanja jednoga protona. Fotoni se prema tome mogu zanemariti ukoliko je riječ o određivanju intenziteta gravitacijskog polja svemira.

Isto što i za foton, može se reći i za neutrino pa se i on može zanemariti.

Možemo prema tome zaključiti da je, od svega što se nalazi u 30 kubičnih metara, jedina stvar koju trebamo računati jedan proton — a to nije dovoljno. Bilo bi nam potrebno najmanje sto protona u tom volumenu da bi se moglo zaustaviti širenje i svemir smatrati zatvorenim.

No, 1980. godine američki je fizičar Frederick Reines (1918 —) objavio rezultate nekih eksperimenata prema kojima, kako se činilo, neutrino ipak ima vrlo malu količinu mase mirovanja. Prema nekim procjenama, ta bi masa odgovarala 1/13.000 mase elektrona ili oko 1/23,000.000 mase protona.

Ako je tako (a eksperimenti iz kojih bi to proizlazilo još su vrlo kontroverzni), tada bi 3,000.000.000 neutrina u 30 kubičnih metara imalo ukupnu masu jednaku masi 125 protona. To bi bilo dovoljno, i više nego dovoljno, da zatvori svemir i osigura jednoga dana njegovo sažimanje i konačni nastanak novoga, mladog svemira.

Kao što vidimo, prema tome, horizont vremena protegnut je unatrag petnaest eona u prošlost, do rođenja svemira; i naprijed u budućnost između deset i sto puta više, do smrti svemira — ili do njegova novog rođenja.

16

Trenuci vremena

PREMA SEKUNDI I DALJE

Istražujući horizonte vremena, i prošloga i budućeg, dosezali smo svojim umom nevjerojatno daleko. Postoji, međutim, jedan horizont koji obuhvaća nevjerojatno kratke odsječke vremena i, na određene načine, prije suvremenih vremena bilo je mnogo lakše baviti se godinama i stoljećima nego satima i sekundama.

U antičko doba, problem bavljenja dijelovima jednoga dana proizlazio je iz činjenice da, kako se činilo, nije bilo prirodnih cikličkih promjena razdoblja kraćeg od jednog dana. Najbolje što se moglo učiniti, s početka, bilo je procijeniti na kojem se dijelu neba nalazi Sunce te govoriti o zori, izlasku Sunca, jutru, podnevu, poslijepodnevu, večeri, sumraku i noći.

Zurenje u Sunce da bi se procijenio njegov položaj nije ni ugodno ni bezopasno. Mnogo je lakše zabiti štap u tlo i promotriti njegovu sjenu. U sjevernoj umjerenoj zoni, gdje su nastale rane civilizacije, Sunce izlazi na istoku, prolazi nebom (ostajući uvijek južno od zenita) i zalazi na zapadu. Sjena pokazuje prema zapadu ujutro i postaje sve kraća s napredovanjem dana. Najkraća je u podne, kad pokazuje prema sjeveru, a potom se produžuje prema istoku kako dan odmiče kraju.

Takva »sunčana ura« rabila se u Egiptu jo 3500. godine prije nove ere. Tijekom stoljeća ta je naprava postajala složenijom te se napokon upotrebljavahu vrlo dotjerane sunčane ure koje su omogućavale da se dan podijeli na dijelove

približno jednaka trajanja. Uobičajenom je postala podjela dana na dvanaest »sati« (prema jednoj grčkoj riječi u značenju »vrijeme dana«).

Broj dvanaest uzet je zato što ga je bilo lako jednako podijeliti sa dva, tri, četiri i šest. Povodeći se za tim, i noć je bila podijeljena na dvanaest sati (iako su sunčane ure beskorisne za određivanje prolaženja vremena kad Sunce nije na nebu), tako da je jedan dan imao dvadeset i četiri sata.

Budući da, dalje od ekvatora, dani postaju duži i kraći u godišnjem ciklusu, a također i noći u suprotnom smislu, jednaka podjela dvaju razdoblja značila je da su sati svijetlog dijela dana bili duži ljeti nego zimi, a noćni sati bili su duži zimi nego ljeti.

To je bilo neprikladno, jer se unutrašnji osjećaj za vrijeme ne mijenja s godišnjim dobima. Čovjek postaje gladan i umoran u sličnim intervalima, bila zima ili ljeto. Na sreću, postojali su i drugi načini procjenjivanja prolaženja vremena, kao što je uspostavljanje nekoga vrlo polaganog gibanja i praćenje njegova napredovanja.

Pijesku koji istječe kroz uski otvor može biti potreban jedan sat da dovrši prijelaz iz gornje u donju posudu, procijenjeno prema sunčanoj uri u vrijeme ekvinocija (kad su dan i noć jednako dugački). Takva će »pješčana ura« jednako odmjeriti jedan sat, u svako doba godine. Ako se pješčana ura preokrene svaki put kad završi jedan sat, ona će odbrojavati sate uzastopce i jednako, čitav dan i čitavu noć.

Prednost je pješčane ure u tome što ona radi noću jednako kao i danju, kad je nebo oblačno jednako kao i kad je vedro.

Ili, mogu se upaliti petrolejke ili svijeće te određivati protjecanje vremena prema spuštanju razine petroleja ili smanjivanju svijeće.

Najuspješnija naprava takve vrste bila je »vodena ura« ili »klepsidra« (prema grčkim riječima u značenju »skrivena voda«). Kod takvih je ura voda kapala iz jedne spremnice u drugu. Prema padu razine vode u jednoj spremnici i podizanju u drugoj moglo se ocijeniti protjecanje vremena. Primjenjivale su se domišljate metode kako bi se osiguralo jednoliko kapanje. Sati su se označavali uz pomoć pokazivača-kazaljki na plovcima.

Egipćani počeše upotrebljavati klepsidre oko 1400. godine pr.n.e., najkasnije, a Grci su ih preuzeli od njih oko 150. godine pr.n.e.

Negdje tijekom 1300-tih godina u upotrebu uđoše mehaničke ure. Kazaljke su se okretale oko brojčanika uz pomoć okretanja zupčanika. Zahvaljujući utezima, zupčanici su se okretali od zupca do zupca u pravilnim vremenskim intervalima. Mehanizam je funkcionirao tako da bi se zupčanici zaustavljali, zatim oslobađali zastoji i opet pokretali da bi opet zapinjali, pa tako dalje i dalje. Takva je vrsta naprave nazvana »zapinjač«.

Mehaničke ure neprekidno su se usavršavale tijekom srednjega vijeka i, po prvi put, moglo se pouzdati u ure što su mjerile dijelove jednoga sata. (Sat je, prema konvenciji što su je prvi uveli Sumerani u dolini Eufrata i Tigrisa prije 2000. godine pr.n.e., bio podijeljen na šezdeset minuta. I broj šezdeset je prikladan zato što se na mnoge načine može jednako podijeliti. »Minuta« dolazi od latinske riječi za »mali dio«.)

Najbolje mehaničke ure srednjovjekovne vrste mogle su pokazivati točno vrijeme s odstupanjima do pet minuta na dan.

Prekretnica je nastala 1581, kad je jedan talijanski mladić, Galileo Galilei (1564—1642), slučajno promatrao njihanje velikoga lustera za vrijeme mise u katedrali u Pisi. Mjerio je vrijeme njihaja brojeći udarce svoga bila te zamijetio da, kako se činilo, luster za isto vrijeme prijeđe od jedne do druge strane bez obzira na to opisuju li njihaji dugačak ili kratak luk. Iskušao je to kod kuće uz pomoć obješenih utega koje je pustio da se njišu u lukovima različite veličine.

Prvi je put za male vremenske intervale pronađeno gibanje konstantnog perioda.

Kao što se pokazalo, njihalo nema apsolutno konstantan njihaj. Dugačkim njihajima potrebno je nešto malo više vremena nego kratkima. No, oko 1657. godine nizozemski je astronom Christian Huygens (1629—95) pronašao način kako da se njihalo njiše u luku cikloida — neke vrste spljoštenog polukruga — a ne kruga. Pod tim je uvjetima njihaj bio dosta konstantan. Huygens je potom izradio uru kod koje se klatno njihalo zahvaljujući utezima što su se polako spuštali, a konstantno njihanje pokretalo je zapinjač.

On je time izumio ono što danas nazivamo velikim satom na uteg, upotrijebivši dugačko njihalo da otkucava sekunde. (Svaka sekunda je 1/60 jedne minute. Zove se »sekunda« zato što je to druga podjela sata, kao jedna šezdesetina jedne šezdesetine sata.)

Huygensova prva ura s klatnom nije gubila ni dobivala više od deset sekundi na dan, pa je tako bila trideset puta točnija od najbolje mehaničke ure. Do 1730. godine takve su ure toliko usavršene da su pokazivale točno vrijeme s odstupanjem od jedne sekunde na dan; do 1830. godine odstupanje je svedeno na 1/10 sekunde na dan; do 1885. na 1/100 sekunde na dan; i do 1925. na 1/5.000 sekunde na dan.

Engleski fizičar Robert Hooke (1635—1703) otkrio je 1675. godine da se fine spiralne opruge mogu rastezati i stezati oko nekog ravnotežnog položaja konstantnim tempom. Ako se upotrijebi čvrsta, odvijajuća »glavna spirala« umjesto utega i vrlo fina spiralna opruga umjesto njihala, mogla bi se izraditi prenosiva ura, prvi upotrebljiv »džepni sat«.

Engleski izrađivač instrumenata John Harrison (1693—1776) toliko je usavršio takve prenosive naprave da su išle naprijed ili kasnile manje od jedne minute, ako bi se nalazile na nemirnome brodu, poslije pet mjeseci provedenih na moru.

Drugi izumi koji su se uvodili — električne ure i ure pokretane oscilirajućim kristalima ili oscilirajućim atomima — stalno su povećavali točnost. Danas postoje »atomske ure« koje ne gube niti ne dobivaju više od jedne sekunde u 1.000 godina.

Mogli bismo se zapitati zašto je potrebna takva rafinirana točnost kod mjerenja vremena. Što je razlika od jedne sekunde u jednom ili dva sata, a da ne govorimo o 1.000 godina?

U običnom životu, potreba za povećanom točnošću pojavila se s napredovanjem industrijalizacije. Dolazak željeznice i uvođenje redova vožnje učinili su značajnim do u minutu točno određivanje vremena. Kad se pojavio radio, bilo je poželjno da slušatelji znaju točno vrijeme gotovo do u sekundu.

Do 1800-tih godina džepne ure postadoše običajem među imućnim muškarcima u industrijskim zemljama. Poslije prvoga svjetskog rata ručne su ure postale običajem velikog dijela populacije obaju spolova. Danas je, u nekoj zemlji poput

Sjedinjenih Država, gotovo svatko na ovaj ili onaj način svjestan neprekidno toga koje je doba dana.

Znanstvenicima je, međutim, nužno krajnje precizno određivanje vremena, i upravo njima su postali značajni krajnje kratki vremenski intervali.

POLUVREMENA

Promislimo, primjerice, o radioaktivnim poluvremenima o kojima smo već govorili. Uran-238 ima poluvrijeme od 4,500.000.000 godina. To nije izmjereno izravno. Ne može se čekati 4,5 eona kako bi se vidjelo da se pola urana raspalo. Može se, međutim, izračunati broj raspada u nekom određenom broju atoma urana-238 u određenom vremenskom razdoblju te na temelju toga izračunati poluvrijeme. Naravno, što je točnije mjerenje toga određenog vremenskog razdoblja, to će biti pouzdanija konačna brojka za poluvrijeme.

Prva pronađena poluvremena bila su vrlo dugačka, jer su prvi otkriveni radioaktivni atomi bili oni koji su još postojali unatoč činjenici što su se raspadali na Zemlji sve do nastanka toga planeta prije 4,6 eona. Za to vrijeme došlo je do raspadanja polovice prvobitnog urana-238; još je preostalo dovoljno da bi uran bio razmjerno rijedak metal, ali ne i pretjerano rijedak.

Ali nisu sva poluvremena dugačka. Uran-238 rasprada se da bi se pretvorio u olovo-206, ali to se događa preko lanca posredničkih radioaktivnih atoma. U svakoj rudači koja sadrži uran-238 prisutni su također i svi posrednički radioaktivni atomi.

Svi ti prijelazni radioaktivni atomi imaju kraći vijek od urana-238 pa se raspadaju brže nego što se akumuliraju. To znači da su prisutne vrlo male koncentracije tih posrednika. Može se pokazati da je koncentracija posrednika manja što je kraće poluvrijeme, u odnosu na uran-238.

Primjerice, u stijenju koje sadrži uran-238 postoji i jedan izotop koji se zove radij-226. Radij-226 prisutan je u koncentracijama samo 1/2,840.000 u odnosu na uran-238. Poluvrijeme radija-226 iznosi prema tome samo 1/2,840.000 poluvremena urana-238, ili oko 1.620 godina. (Zapravo je lakše odrediti poluvrijeme radija-226 i, iz toga, izračunati poluvrijeme urana-238.)

Postoje također poluvremena kraća od poluvremena radija-226, a kratka poluvremena mogu se izračunati na razne načine. Tako, pokazano je da, što je kraće poluvrijeme svakog atoma koji se raspada emitirajući određeno zračenje nazvano »alfa-čestice«, to će te alfa čestice sadržavati više energije. Energija alfa-čestica može se odrediti prema tome koliko duboko one prodiru u neku tvar, a iz toga še mogu izračunati njihova poluvremena.

Među posrednicima raspada urana-238, polonij-210 ima poluvrijeme od 138,4 dana, bizmut-214 ima poluvrijeme od 19,7 minuta, astatin-218 ima poluvrijeme od dvije sekunde, a polonij-214 poluvrijeme od 0,00016 sekundi.

Naravno, ti kratkovjeki atomi danas na Zemlji ne bi postojali kad se ne bi neprekidno stvarali raspadom urana-238.

Pri raspadu torija-232 nastaje jedan još nestabilniji posrednik. To je polonij-212 s poluvremenom od 0,0000003 sekunde. To je samo jedna trećina jedne milijuntine sekunde, pa ipak postojanje jedne supstancije koja je toliko nestalna da se ne može izolirati u vidljivim količinama odaje priroda alfa-čestica koju ona emitira — a mogu se također odrediti i njezina svojstva.

Čovjekov horizont kratkih vremenskih intervala proširio se također do razine daleko ispod milijuntine sekunde. U 1930-im godinama i kasnije sagrađeni su veliki »akceleratori čestica«, omogućujući znanstvenicima da rade sa česticama mnogo manjima od atoma (»subatomske čestice«) i da im daju ogromne energije. Sudaranjem tih subatomskih čestica s atomima i njihovim međusobnim sudaranjem, oni su stvorili nove vrste subatomskih čestica s izvanredno kratkim poluvremenima.

Te nestalne čestice imaju pri nastanku dovoljno energije da bi putovale gotovo brzinom svjetlosti. One, međutim, traju tako kratko da čak i pri takvoj brzini stvaraju vrlo kratke tragove u instrumentima što su konstruirani za njihovo otkrivanje uz pomoć tragova vodenih kapljica ili sićušnih mjehurića plina što ih ostavljaju.

Tako na primjer, teta-mezon postoji, poslije nastanka, sama oko 10^{-10} sekundi (jednu stobilijuntinu sekunde), a postoje i »rezonantne čestice« kojih su poluvremena — kako je izračunato — otprilike 10^{-23} sekundi (deset bilijuntina jedne bilijuntine sekunde).

Pa ipak, čak ni to nije granica. U posljednjih nekoliko godina fizičari su razrađivali »glavnu ujedinjenu teoriju« (Grand Unified Theory — GUT) koja će, kako se nadaju, obuhvatiti sve različite tipove sila* koje poznajemo i svrstati ih sve unutar jedne grupe matematičkih odnosa. Uz primjenu GUT-a, fizičari su razradili mogući tijek zbivanja neposredno poslije velikog praska. GUT *može* dati smislene rezultate (drži se) s obzirom na događaje koji su se zbili u tako kratkom vremenu kao što je 10^{-43} sekunde poslije velikog praska. To je 0,00000000000000000000000000000000000001 sekunda, ili deset milijuntina jedne bilijuntine bilijuntine bilijuntine sekunde.

PUTOVANJE KROZ VRIJEME

Postoji li neki način da se putuje kroz vrijeme?

U određenom smislu, mi to neprekidno činimo. Svatko od nas putuje prema naprijed kroz vrijeme, brzinom od jedne sekunde u sekundi.

Pitanje je, međutim: možemo li promijeniti tu brzinu?

Možemo, ako se gibamo u odnosu na svemir općenito. Pri običnim brzinama ta je promjena mala. Osoba koja putuje nadzvučnim mlaznim avionom oko svijeta brzinom od jednoga kilometra u sekundi deset godina — prema svome vrlo točnom satu, na kraju tog putovanja otkrit će da je za one što su ostali na Zemlji prošlo deset godina i 9,5 dana, tako da je ona u tom intervalu otišla 9,5 dana u budućnost.

Naravno, ako ta osoba putuje sve brže i brže, razlika će biti veća. Ako se nalazi u svemirskom brodu koji se kreće brzinom od 260.000 kilometara u sekundi (sedam osmina brzine svjetlosti), vrijeme će joj prolaziti upola brže nego onima koji su ostali kod kuće. Njezin bi sat zabilježio pet godina (i ona bi *doživjela* pet godina), dok bi ure na Zemlji zabilježile deset godina (i svi bi na Zemlji *doživjeli* tih deset godina).

---

* Postoje zapravo samo četiri takva tipa. To su, redom kako su otkriveni, gravitacijska interakcija, elektromagnetička interakcija te dvije različite nuklearne interakcije, jaka i slaba.

Ako putuje još brže, razlika će se dalje povećavati. Ako putuje brzinom od 295.000 kilometara u sekundi (98,3 posto brzine svjetlosti), kad za tu osobu prođe pet godina, na Zemlji će proći 27,2 godine i tako dalje.

Na taj način (teorijski) osoba bi mogla putovati u budućnost koliko daleko želi, pod uvjetom da posjeduje energiju koja bi je ubrzala do takve brzine i omogućila joj da se vrati te potom smanji brzinu kako bi stigla natrag na Zemlju. (I pod uvjetom da je putovanje pri takvim brzinama praktički izvedivo, o čemu smo već govorili).

Putovanje unatrag kroz vrijeme posve je druga stvar.

Mi možemo *vidjeti* unatrag kroz vrijeme; zapravo, drukčije i nije mogće. Svjetlu je uvijek potrebno nešto vremena da bi stiglo do nas, ma kako bila kratka udaljenost, pa neki objekt vidimo samo onakvim kakav je bio kad ga je napustilo svjetlo. Ako stojima udaljeni od nečega 3,3 metra, mi to nešto vidimo onakvo kakvo je bilo prije 10^{-8} sekundi (stomilijuntina jedne sekunde). (Naravno, ta vremenska razlika je potpuno beznačajna u običnim mjerilima te smatramo da vidimo nešto onakvo »kakvo je *sada*«.)

S druge strane, svjetlosti je potrebno osam minuta da bi stigla do nas sa Sunca, pa tako vidimo Sunce onakvo kakvo je bilo prije osam minuta (i da je ono nestalo prije tri minute, mi bismo to saznali tek za još pet minuta). Zvijezdu Alfa Centauri vidimo onakvu kakva je bila prije 4,3 godine, a zvijezdu Arktur kakva je bila prije četrdeset godina.

Kad promatramo galaksiju Andromeda, vidimo je kakva je bila prije 2,300.000 godina, a kad promatramo najudaljeniji kvazar što ga možemo vidjeti, vidimo ga kakav je bio prije 10,000.000.000 godina otprilike. Svjetlost koju vidimo, kako dolazi od toga dalekog kvazara počela je svoje dugo putovanje u vrijeme eonima prije nego što je postojao Sunčev sustav.

Naravno, što dalje zavirujemo u prošlost to manje vidimo, jer moramo prodrijeti kroz sve veće i veće udaljenosti.

Ako bismo mogli otputovati sa Zemlje brzinom većom od brzine svjetlosti, i ako bismo pri tome promatrali Zemlju, prestigli bismo svjetlosne zrake što su napustile Zemlju i, teoretski, mogli bismo promatrati kako se povijest Zemlje razmotava unatrag. No, što bismo brže putovali i što bismo pokušavali pogledati dalje u prošlost, manje bismo mogli

vidjeti, jer bismo taj uvid sve dalje i dalje unatrag dobili po cijenu sve većih i većih udaljenosti.

Bismo li mogli, kao što se čini u znanstvenofantastičnim pričama — sjesti u neku spravu, okrenuti nekoliko ručica te zakoračiti na Zemlju kakva će biti 3000. godine ili kakva je bila 3000. godine prije nove ere?

To je, kako se čini, krajnje nevjerojatno, ikada. Zemlja se giba oko Sunca brzinom od 30 kilometara u sekundi. Za tri sata ona prijeđe 324.000 kilometara. Ako bismo ušli u vremenski stroj, pritisnuli dugme i zakoračili tri sata u prošlost, tada bismo se našli u vanjskom svemiru, a Zemlja bi bila udaljena od nas 324.000 kilometara.

Ako zamislimo da bi se vremenski stroj kretao za Zemljom te da bismo mogli pritisnuti dugme i zakoračiti tri sata u prošlost a ipak se naći na Zemlji, tada bismo morali prijeći 324.000 kilometara točno za vrijeme koliko je potrebno da bi se pritisnulo dugme, a tada bismo putovali brže od brzine svjetlosti.

Zatim, dakako, stvari su kompliciranije i od toga, jer Zemlja se ne okreće samo oko Sunca, već se kreće i sa Suncem oko središta galaksije, a s galaksijom stazom unutar lokalne grupe galaksija i među galaksijama općenito.

Ako bismo nekako uspjeli uskladiti sva ta gibanja, tada se čini logičnim pretpostaviti kako bi za to bila potrebna energija, tako da bi putovanje kroz vrijeme zahtijevalo isto toliko energije kao i putovanje kroz prostor. I isto toliko vremena, također — što bi smjesta opovrglo čitavu tu ideju.

Osim toga, postoje u tome i paradoksi. Stara znanstvenofantastična dosjetka o čovjeku koji odlazi u prošlost i ubija vlastitog pradjeda, tako da on sam nikad i nije rođen pa nije mogao izvesti taj čin, samo je najčešće navođen primjer o tome kako bi vremensko putovanje u prošlost razorilo princip kauzalnosti.

Konačno, kad bi se princip kauzalnosti i mogao prekršiti, i ako bismo mogli zamisliti da bi neki tehnološki napredak u budućnosti omogućio praktično putovanje kroz vrijeme, još uvijek postoji da nas, koliko znamo, nitko iz budućnosti nije došao posjetiti.

To bi moglo značiti da su putnici kroz vrijeme vrlo pažljivi te ne dopuštaju da budu viđeni — ili bi moglo značiti da nitko u budućnosti neće nikad riješiti taj problem. (Ja držim da je vjerojatno ovo potonje.)

17

Brzina

ŽIVA STVORENJA

Prije nego što krenemo dalje, spojit ćemo dva područja koja smo već obuhvatili — područja prostora i vremena. Moguće je kretati se prostorom u datom vremenu, kao što smo imali prilike prihvaćati kao gotovu činjenicu u ovoj knjizi.

Veličina pomicanja — to jest, udaljenost koju prelazimo u prostoru u zadanom vremenu — jest »brzina«. (Ako uzmemo u obzir brzinu u zadanom smjeru, tada je riječ o preciznijem pojmu. No za potrebe ovog odlomka govorit ćemo o relativnoj brzini. Smjer pomicanja je nebitan.)

Ljudska bića uvijek su se mogla kretati na jedan od dva glavna načina: hodanjem i trčanjem. Kod hodanja barem jedna noga uvijek ostaje na tlu, dok su kod trčanja u određenim trenucima obje noge uzdignute od tla. (Trčanje korakom je vrsta polaganog trka, a svrha mu je stvaranje kondicije ili vježbanje. Može se napredovati i u skokovima, poskakivanjem, prevrtanjem i tako dalje, no to su igre ili ekshibicije i nisu normalni načini napredovanja.)

Normalno žustro hodanje može se odvijati brzinom od 5 kilometara na sat, iako se ta brzina može povećati kad je potrebno. Općenito, ako je potrebna veća brzina, ljudska bića prelaze u trk, ali brzo hodanje može se protegnuti na veće udaljenosti, obično radi vježbe ili u sportskim natjecanjima.

Oni koji nemaju prilike poduzimati hodanje koje je ili dugo ili brzo, iznenadit će se kad otkriju što ljudski stroj

može postići treningom i vježbanjem. Svjetski rekord u hodanju na 20 kilometara je jedan sat, 25 minuta i 19,4 sekunde, što se penje do brzine od 14 kilometara na sat.

Naravno, ako se udaljenost povećava, prosječna brzina se smanjuje. Rekord na 50 kilometara iznosi 4 sata, 27,2 sekunde, što je brzina od 12,5 kilometara na sat.

Trčanje je, ako je sve ostalo jednako, brže od hodanja. Najglasovitija duga trka je »maraton«, nazvana tako jer se pretpostavlja da predstavlja udaljenost što ju je prešao atenski trkač Filipies da bi Atenjanima javio ishod bitke kod Maratona 490. godine pr.n.e. Dužina maratona je 42,2 kilometra, a rekordno vrijeme je 2 sata, 8 minuta, 33,6 sekundi. To je prosječna brzina od 19,7 kilometara na sat, što je otprilike 1,6 puta brže nego što bi istu udaljenost mogao svladati iskusni hodač.

Naravno, na kraćim udaljenostima prosječna se brzina povećava. Rekord za trku na 10 kilometara je 27 minuta, 30,8 sekundi, uz prosječnu brzinu 21,8 kilometara na sat. Jedna milja (1,6 kilometara) svladana je za 3 minute 51,1 sekundu, kod prosječne brzine 25 kilometara na sat. Rekord utrke na 100 jardi (0,0914 kilometara)je 9,0 sekundi, uz prosječnu brzinu 36,56 kilometara na sat.

Naravno, prosječna brzina nekog atleta koji trči utrku na 100 jardi smanjuje se zato što on u početku mora postići ubrzanje iz mirovanja. Godine 1963. mjerilo se vrijeme jednom trkaču između 60. i 75. jarda i na toj udaljenosti od 15 jardi postigao je brzinu 44,9 kilometara na sat, možda najveću brzinu kojom je ljudsko biće projurilo, bez pomagala, prostorom na znatniju udaljenost.

Tijekom najvećeg dijela čovjekova postojanja, ljudska su se bića morala oslanjati na vlastite mišiće za svladavanje udaljenosti. Azijski nomadi krotili su konje oko 2000. godine pr.n.e. i nakon toga tim su se životinjama sve više koristila ljudska bića koja su željela putovati brzinama većim no što su ih sama mogla postizati (ili koja su željela putovati uz manje utrošena osobnog napora).

Pri običnoj upotrebi, obični konji mogu se kretati brže od običnih ljudi, a konji, osobito oni što se uzgajaju radi postizanja brzine, pod povoljnim uvjetima daleko nadmašuju rezultate čovjekovih utrka na sličnim udaljenostima.

Svjetski rekord što ga je trkaći konj ostvario u utrci na 3 milje (4,83 kilometra) je 5 minuta 15 sekundi, što odgovara

prosječnoj brzini 55,2 kilometra na sat. Na kraćim udaljenostima konji mogu postići brzine od 64 kilometra na sat, što je gotovo upola brže od najveće brzine kojom ljudsko biće može trčati, a može se održavati na udaljenostima od 1,5 kilometara.

Ne postoji mnogo kopnenih životinja koje mogu nadmašiti trkaćeg konja. Kunić mužjak, trčeći maksimalnom brzinom, možda može držati korak s brzim trkaćim konjem, zahvaljujući svojoj sposobnosti da preskače veće udaljenosti. Veliki klokan, ako je prestrašen te trči da bi spasio život, može izvoditi još dulje skokove (zabilježen je jedan od 12,8 metara) te može prestići trkaćeg konja.

Začudo, to može učiniti i jedna dvonožna životinja. Smatra se da noj, ako trči da bi spasio život, može postići brzinu od 70 kilometara na sat. Nema dvojbe da je to najbrži živi organizam koji trči po tlu na dvije noge.

Mnoge vrste jelena, antilopa i gazela mogu prestići konja. Prema nekim izvještajima, obični jelen može postići brzinu od 67 kilometara na sat. Jedna vrsta sjevernoameričke antilope može očito postići brzinu od 100 kilometara na sat kad se napregne do krajnjih granica.

Sve su ove kopnene životinje koje spomenuh biljožderi. One žive u ravnicama i jedini im je sigurni spas od grabežljivaca mesoždera — brzina. Najhitrije će najvjerojatnije preživjeti, a tijek evolucije stvorio je životinje koje mogu juriti po tlu zapanjujuće dobro.

Mesožderi, uglavnom, ne trče tako brzo kao njihov plijen. Oni uspijevaju pronaći svoj ručak ležeći i čekajući, ili prikradajući se, ili skokom iz zasjede. Uspijeva im također s mladunčadi, starima, bolesnima, ranjenim — životinjama koje iz nekog razloga ne mogu pratiti krdo najvećom brzinom.

Ipak, neki mesožderi *mogu* dobro juriti. Kojotu uspijeva postići 55 kilometara na sat ako je u nuždi, što možda nije baš *posve* brzo kao mužjak kunić, no ipak dovoljno.

Pa ipak, najbrži od svih kopnenih životinja jedan je mesožder, na kraju krajeva — gepard. Na udaljenosti od pol kilometra, on može postići brzinu čak do 102 kilometra na sat. On može dostići čak i gazele, no samo ako mu to uspije doista u vrlo kratkom vremenu (ili ako gazelu nešto ometa u trčanju), jer ako gepard ne uhvati svoj plijen za minutu, on mora usporiti, a gazela, iako nije baš tako brza kao gepard, ima više izdržljivosti i može nastaviti trčati.

Ljudska bića mogu napredovati kroz vodu, no nipošto tako brzo kao kopnom. Voda je žitkija od zraka i potrebno je više energije, ako je sve drugo jednako, da bismo se probijali kroz vodu nego kroz zrak. To će smjesta shvatiti svatko tko punom brzinom trči plažom i ulazi zatim u vodu.

Najveća zabilježena brzina koju je čovjek postigao u vodi iznosi samo oko 8,1 kilometar na sat.

Ljudska su bića, međutim daleko od toga da bi bila dobro prilagođena kretanju u moru. Druge toplokrvne životinje koje su se vratile u more i koje žive u njemu većinu ili čitavo vrijeme, bolje su prilagođene. One imaju manje ili više aerodinamičan oblik da bi se što više smanjio otpor vode, te imaju peraje koje im služe kao pogonsko sredstvo.

Pa ipak, najbrži dupini, tuljani i pingvini ne premašuju brzine od 40 kilometara na sat.

Daleko najuspješnije i najbolje prilagođene morske životinje su ribe. Ne iznenađuje stoga što se najbrži putnici vodom nalaze unutar te grupe, osobito u velikih i mišićavih primjeraka.

Veliki pas modrulj, kako kazuju izvještaji, putuje brzinom od 65 kilometara na sat, što bi bilo jednako brzo kao i najbrži trkaći konj, no drugi i to nadmašuju. Drži se da sabljarka putuje brzinama do 80 kilometara na sat, što bi bilo jednako brzo kao i hitra antilopa. Ipak, rekord drži psina golema; zabilježena je brzina jednog primjerka od 110 kilometara na sat, što je brže od geparda.

Ali ako se teže probijati vodom nego zrakom, putovanje izravno zrakom, bez doticanja tla, pruža mogućnosti za veće brzine nego napredovanje na tlu. Ako je, drugim riječima, sve ostalo jednako, brže se leti nego što se trči.

To je dio objašnjenja za brzinu životinja duga koraka, kao u slučaju konja ili noja, ili sposobnosti dugih skokova, kao u slučaju kunića i klokana. To su kvazi-letači.

Ako, međutim, govorimo o pravim letačima, saznajemo da popis obuhvaća četiri različita tipa životinja (što smo već spominjali).

Od njih, pterosaurusi su izumrli već 65,000.000 godina pa ne znamo kako su brzo bili u stanju letjeti. Paleontolozi, čini se, imaju općenit dojam da oni nisu bili brzi letači.

Kad je riječ o insektima, vrlo je teško kazati kako brzo oni doista lete, a koliko od njihove brzine valja pripisati zračnim strujama. Čini se krajnje dvojbenim da bi, u nor-

malnim okolnostima, ijedan insekt mogao letjeti brže od 55 kilometara na sat, a i tada samo kratko ili na visinama gdje je zrak rijedak te stvara manji otpor.*

Libele se nalaze među najbržim insektima; jedna izumrla libela koja je živjela otprilike prije 300.000 godina čini se da je imala ogroman raspon krila (za insekta) od 0,7 kilometara na sat. Ona je mogla biti sposobna za provale brzine do 70 kilometara na sat.

Šišmiši, jedini leteći sisavci, očito su evoluirali u smjeru pokretnosti više nego brzine. Najveća zabilježena brzina za nekog šišmiša je 51 kilometar na sat, što znači da brzi šišmiš nije brži od brzog insekta.

Brzine leta veće od brzina hitroga trkaćeg konja moramo potražiti u ptica, najbržih od svih letećih stvorova što su se ikad razvili.

Labud, primjerice, postiže izmjerenu brzinu od gotovo 90 kilometara na sat, a kanadska divlja guska do 100 kilometara na sat. Kanadska guska je, drugim riječima, gotovo jednako brza kao i gepard, a svoju brzinu nedvojbeno može održavati mnogo dulje.

Pa ipak, postoje ptice koje daleko nadmašuju kanadsku divlju gusku. Izmjerena je brzina leta čiope od 170 kilometara na sat, ili više od 2,8 kilometara u minuti! Pod pretpostavkom da je doista tako, ta je čiopa najbrži poznati živi organizam koji svoju brzinu postiže samo uz pomoć mišića.

NEŽIVI PREDMETI

Dosad smo govorili o brzini živih organizama koja se postiže bez pomagala. Ljudska se bića, međutim, ne oslanjaju samo na svoje mišiće.

Kad je riječ o putovanju po vodi, na primjer, ljudska su bića upotrebljavala razne vrste plovila od prvih dana civili-

* U prošlosti je bilo izvještača o tome da su neki insekti mogli letjeti brzinama od 1.000 kilometara na sat, no pokazalo se da su takve tvrdnje očito nemoguće. Kad se objavljuju ekstremi bilo koje vrste, osobito o živim organizmima, uvijek postoji sklonost pretjerivanju radi dramatičnog efekta. U ovoj knjizi pokušavam biti oprezan u procjenama, no postoji mogućnost da sam tu ili tamo nasjeo.

zacije. Prva plovila nosila je struja vode i tako su, u najboljem slučaju, iskorištavala neživu energiju. Kasnije su ljudska bića naučila pokretati plovila motkama ili veslima da bi napredovala protiv struje, ali i za to su se upotrebljavali čovjekovi mišići kao pogon.

Veslanje nikad nije bilo brz način napredovanja. Najveća zabilježena brzina čak i vrlo lakih čamaca koje pokreće tim veslača na natjecanju iznosi tek 21,6 kilometara na sat.

Ako se plovilo opremi jedrima, za pogon se može iskoristiti vjetar — opet pasivno. Kako su prolazila stoljeća, jedra postajaše brojnija i djelotvornija, a njihova upotreba domišljatija. Usavršavali su se i drugi aspekti konstrukcije brodova. Godine 1890. jedan je jedrenjak postigao prosječnu brzinu 40 kilometara na sat, tijekom poludnevne utrke.

Konačno je u upotrebu ušla primjena nežive energije što su je proizvodila i održavala ljudska bića i koja se pokoravala njihovoj volji, u vezi s prijevozom i brzinom. To se, naravno, nije moglo dogoditi sve dok, 1774. godine, škotski inženjer James Watt (1736—1819) nije uveo djelotvorne parne strojeve; taj je događaj pokrenuo ono što nazivamo »industrijskom revolucijom«.

Nije potrajalo dugo, i parni stroj smješten je na brod sa zadatkom da okreće kotač parobroda radi pogona. Američki izumitelj John Fitch (1743—98) sagradio je 1790. prvi uspješni parobrod, no nije njime uspio postići i komercijalni uspjeh. Ali, 1807. godine Robert Fulton (spomenut prije u vezi s podmornicama) sagradio je prvi komercijalno uspješan parobrod, *Clermont.*

Parobrodi su u početku bili nezgrapni i spori; tijekom prvog desetljeća upotrebe kretali su se samo oko 12 kilometara na sat. Njihova je prednost bila prvenstveno njihova sposobnost da se kreću za potpune bonace ili čak protiv vjetra.

Jedrenjaci se nisu dali potisnuti tijekom prvih šest desetljeća 1800-tih godina, ali dolazak oklopnjača, sve djelotvornijih strojeva i propelera umjesto kotača s lopaticama doveo je paru u vodstvo koje se sve više povećavalo poslije 1870-ih godina. U dvadesetom stoljeću, jedra su se sve više i više ograničavala na lađe za razonodu.

Parobrodi su napokon daleko nadmašili jedrenjake u brzini. Linijski brod *United States* prešao je 1952. godine Atlan-

tik od New Yorka do Le Havrea za manje od tri i pol dana, uz prosječnu brzinu 66 kilometara na sat. Kasnije te godine postigao je prosječnu brzinu od 77 kilometara na sat tijekom jednodnevne vožnje.

Vojni brodovi mogu postići još bolje rezultate. Najbrže podmornice mogu ploviti 83 kilometra na sat, najbrži razarači 113 kilometara na sat, a specijalno konstruirana eksperimentalna plovila do 130 kilometara na sat. Nije stoga čudno da su ljudska bića (potpomognuta tehnologijom) danas na moru najbrža od svih živih stvorenja.

Na kopnu, primjena nežive energije za prijevoz daleko je zaostajala za stanjem na vodi. Sve dok se nije zašlo dobrano u 1800-te godine, ljudska su bića bila ograničena na mišiće, ili vlastite ili one konja, da bi prevaljivala kilometre. (Upotreba drugih životinja, kao što su deve i magarci, imala je manju ulogu.)

Godine 1801, engleski izumitelj Richard Trevithick (1771—1833) prvi je stavio parni stroj u jedno vozilo i tako ga opremio da je snaga stroja okretala kotače. Naravno, to ne bi imalo uspjeha na neravnu tlu, jer bi se previše snage potrošilo za prevladavanje trenja i neravnina. Trevithick je pokazao da je praktično i izvedivo postaviti kotače da se okreću po dugačkim metalnim tračnicama. On je time proizveo ne samo lokomotivu, već i željeznicu.

Nažalost, Trevithick, poput Fitchta prije njega, nije svojim pothvatom mogao postići komercijalni uspjeh. To je bilo prepušteno engleskom izumitelju Georgeu Stephensonu (1781—1848) 1825. godine. Željeznica je poslije toga naglo stekla popularnost te je između 1850. i 1950. godine bila dominantno sredstvo za duga putovanja kopnom.

Prve lokomotive, u 1820-im godinama, postizale su brzine ne veće od 47 kilometara na sat, no brzina se naglo povećavala kako su se dodavala poboljšanja. Do 1840-ih godina zabilježene su brzine od 91 kilometar na sat i, prvi put u povijesti, ljudska su bića (uz pomoć tehnologije) mogla putovati kopnom brzinama znatno većima od brzine trkaćeg konja i, ako je bilo dovoljno goriva, istrajati tako neograničeno. (Dakako, obični željeznički putnici nisu putovali ni približno brzinom što su je postizala specijalno konstruirana vozila pod specijalno povoljnim uvjetima — ali, ni običan jahač nije putovao brzinama džokeja na leđima čistokrvnoga trkaćeg konja koji je trčao u specijalno povoljnim uvjetima.)

Godine 1843, manje od dvadeset godina poslije Stephensonove prve praktične lokomotive, jedna lokomotiva u Irskoj postigla je brzinu od 137 kilometara na sat te su sad ljudska bića mogla prestići geparde.

Do 1903. godine električne lokomotive u Njemačkoj postizale su brzine od 210 kilometara na sat i ljudska su bića mogla putovati brže od ijednoga drugog živog stvora, čak i od najhitrije čiope. Danas, lokomotive kojima snagu pojačavaju rakete mogu postići brzine od oko 380 kilometara na sat.

Belgijsko-francuski izumitelj Jean J. E. Lenoir (1822—1900) konstruirao je 1860. godine prvi upotrebljiv motor s unutrašnjim sagorijevanjem koji se, kasnije, pokazao mnogo lakšim i djelotvornijim od parnog stroja. Motor s unutrašnjim sagorijevanjem bio je osobito prilagodljiv malim vozilima pa je 1860. godine Lenoir jedan takav motor ugradio u teretna kola te stvorio prva »kola bez konja«, nešto što će kasnije dobiti ime »automobil«.

Automobili nisu postali upotrebljivi sve do 1880-ih godina. Jedan od prvih pravih automobila sagradio je njemački izumitelj Gottlieb W. Daimler (1834—1900) 1887. godine.

S odmicanjem 1900-tih godina, automobil je postao glavnim oblikom prijevoza obiteljskih grupa, dok su veće verzije, autobusi i kamioni, postajale sve značajnije u prijevozu većih grupa ljudi i robe sve vrste.

Na američkim autocestama brzina je danas ograničena na 88,5 kilometara na sat (55 milja na sat), pa iako je to brzina jedne gazele, vozači se uz najveće teškoće ograničavaju na tu razinu. (Putujući jedanput iz Bostona u New York 1973. godine, napet zbog jednoga kriznog događaja u obitelji, vozio sam u prosjeku 110 kilometara na sat i povremeno čak dosezao 130 kilometara na sat. Ne samo da sam daleko nadmašio geparda, već sam u tome ustrajao tri sata.)

Vozači trkaćih automobila postižu brzine od čak 320 kilometara na sat u jednom krugu trke, a 1970. jedno je cestovno vozilo s pomoćnim raketama postiglo brzinu od 1.046 kilometara na sat, što odgovara brzini od 17,4 kilometra u minuti. To se približava brzini zvuka koji putuje zrakom, u standardnim uvjetima, brzinom od 1.192 kilometra na sat ili 19,9 kilometara u minuti.

Avioni (o čemu smo pisali), naravno, mogu pretećі sve na tlu, kao što ptice mogu pretećі svaku kopnenu životinju. Brzinu zvuka ljudska su bića (ili, uostalom, bilo koji živi

stvor) prvi put nadmašila 14. listopada 1947, kad je to uspjelo jednom avionu kojim je pilotirao Charles E. Yeager.

Otada je »nadzvučni let« postao obična stvar i avioni potpomognuti raketama postižu brzine veće od 7.300 kilometara na sat, a to odgovara brzini od 2 kilometra u sekundi i brže je od zvuka 6,1 put.

Rakete pak mogu nadmašiti avione. Sonde usmjerene prema vanjskim planetima napuštaju Zemlju brzinama od oko 14,5 kilometara u sekundi. To su, zasad, najbrži objekti što ih je izradio čovjek.

S raketama se približavamo brzinama astronomskih objekata, a neke od njih i premašujemo.

Zemlja se, primjerice, okrene oko svoje osi za jedan dan. Svaka točka na njezinoj površini, prema tome, opisuje kružnicu oko te osi, a točke koje opisuju veće kružnice kreću se brže u odnosu na os. Najveća je kružnica ona koju opisuje ekvator i neka točka na Zemljinu ekvatoru giba se, u odnosu na Zemljinu os, brzinom od 1.670 kilometara na sat, ili 0,46 kilometara u sekundi. To je manje od 1/30 brzine naših najbržih raketa.

Zemlja, međutim, ne drži rekord rotacijske brzine u Sunčevu sustavu. Sunce koje ima obodnicu 109 puta dužu od Zemljine obavi rotaciju za 25,1 dan. Neka točka na Sunčevu ekvatoru giba se u odnosu na njegovu os brzinom od 7.260 kilometara na sat, ili 2 kilometra u sekundi.

No ni to nije rekord. Planet Jupiter, s obodnicom 11,16 puta većom od Zemljine, obavi rotaciju za ne mnogo više od dvije petine vremena koje je za to potrebno Zemlji. Neka točka na Jupiterovu ekvatoru (ili barem na sloju oblaka koji tvori njegovu vidljivu površinu) gibala bi se brzinom od 45.000 kilometara na sat u odnosu na Jupiterovo središte — a čak je i to sporije od naših najbržih raketa.

Uz rotaciju, planeti lete prostorom na svojem putovanju oko Sunca. Te brzine revolucije su veće što je planet bliže Suncu pa je, stoga, intenzivnije Sunčevo gravitacijsko polje na prostoru planeta.

Jupiter se, primjerice, giba oko Sunca prosječnom brzinom (u odnosu na Sunce) od 13,1 kilometar na sat, brzinom koja je tek neznatno manja od naših najbržih raketa.

Mars, znatno bliži Suncu od Jupitera, okreće se oko njega prosječnom brzinom od 24,1 kilometar na sat, i to nadmašuje našu raketnu tehniku.

Zemljina prosječna brzina revolucije oko Sunca iznosi 29,8 kilometara u sekundi, dok Merkur, Suncu najbliži planet po stoga i najbrži, putuje prosječnom brzinom 47,9 kilometara u sekundi. Merkur ima ekscentričnu orbitu; on je na jednom kraju orbite znatno bliže Suncu nego na drugom. Kad se najviše približi Suncu (»perihel«), Merkur se kreće brzinom od 56 kilometara u sekundi.

Neki kometi prilaze Suncu mnogo bliže od Merkura, a oni koji prilaze najbliže moraju putovati brzinama od oko 600 kilometara u sekundi dok prelijeću iznad Sunčeve površine.

Kao što se planeti okreću oko Sunca, Sunce se okreće oko središta galaksije brzinom, u odnosu na to središte, od oko 300 kilometara u sekundi. Zvijezde koje su bliže tom središtu od Sunca, okretat će se, naravno, većim brzinama. (Ako se neka zvijezda *suviše* približi središtu, sve će više i više zvijezda biti dalje od središta nego što je to ona, a gravitacijska sila zvijezda koje su još između nje i središta će se smanjivati pa će se tako ponovo smanjivati i brzina revolucije.)

Svemir se, naravno, širi i galaksije odmiču jedna od druge brzinama proporcionalnima razmaku među njima. Tijekom 1920-ih godina i kasnije spektrografski su se proučavale sve tamnije i nejasnije galaksije i tada su izračunate brzine odmicanja u rasponu od nekoliko tisuća kilometara u sekundi, zatim nekoliko desetaka tisuća, zatim stotina tisuća. Do početka 1960-ih godina proučene su daleke galaksije koje su se udaljavale od nas brzinom od 240.000 kilometara u sekundi.

Sad se, napokon, približavamo brzini svjetlosti.

Najbrže živo biće kreće se brzinom manjom od 1/6,400.000 brzine svjetlosti. Najbrža naprava koju je izradio čovjek kreće se brzinom manjom od 1/20.000 brzine svjetlosti. Komet koji juri pokraj Sunca kreće se brzinom od samo 1/500 brzine svjetlosti.

Međutim, galaksija koja odmiče od nas brzinom od 285.000 kilometara u sekundi, time postiže brzinu što iznosi 80 posto brzine svjetlosti.

Godine 1963. otkriveni su »kvazari«. Pokazalo se da je čak i najbliži od njih udaljen više od 1,000.000.000 svjetlosnih godina, a to je dalje od najudaljenije otkrivene obične galaksije. Naravno, kvazari su se udaljavali od nas brzina-

ma još većim od običnih galaksija. Najudaljenija galaksija koju smo dosad otkrili čini se da odmiče od nas brzinom od 285.000 kilometara u sekundi, što je 95 posto brzine svjetlosti.

Jedini još brži objekti su neke brze subatomske čestice u kozmičkim zrakama ekstremne energije koje putuju brzinom većom od 99,9 posto brzine svjetlosti, ali same ne postižu posve tu kritičnu brzinu.

Brzina svjetlosti u vakuumu je, prema tome, apsolutna brzinska granica svemira — 299.792,5 kilometara u sekundi.*

* U proteklih nekoliko godina astronomi su otkrili nekoliko udaljenih kvazara u kojih se neki dijelovi, čini se, razdvajaju brzinama većima od brzine svjetlosti, ali čini se kako postoji čvrsto uvjerenje da će se pojaviti objašnjenje koje će razjasniti takvi prividne brzine bez raskidanja granica brzine svjetlosti. Ukoliko je riječ o hipotetičnim tahionima bržima od svjetlosti, oni još nisu otkriven i pa možda i ne postoje.

III dio
Horizonti tvari

18

Masa, velika i mala

ŽIVI DIVOVI

Dosad smo u ovoj knjizi putovali prostorom i vremenom, upuštajući se do granica koje možemo zapaziti ili zamisliti. No, prostor i vrijeme u pučkoj su svijesti samo okvir. Unutar njega nalaze se objekti napravljeni od tvari. Moramo istražiti i horizonte tvari.

To je, na određeni način, složenije od bavljenja prostorom i vremenom. Prostor ima jedno primarno svojstvo — prostiranje. Vrijeme ima jedno primarno svojstvo — trajanje. Tražeći njihove ekstreme, mi se koristimo jednim jedinim mjernim sredstvom — metrom za prostor i satom za vrijeme (iako se suvremena tehnologija koristi njihovim krajnje usavršenim verzijama).

U slučaju tvari postoji nekoliko različitih svojstava, od kojih svako zaslužuje pažnju. Najznačajnije od njih je »masa«.

Masa je pojam koji je izrazio Isaac Newton. On je istakao u 1680-im godinama da su različitim objektima potrebne sile različite veličine za ubrzanje do iste konačne brzine u zadanom vremenu. Potrebna sila proporcionalna je masi objekta. Mnogo je lakše ubrzati loptu za bejzbol do zadane brzine u zadanom vremenu, nego željeznu loptu iste veličine (pokušajte i uvjerite se). Stoga kažemo da je željezna lopta »masivnija« od lopte za bejzbol.

I dalje, svaki komad tvari je izvor nekoga gravitacijskog polja. Intenzitet takvih polja varira, neka snažnije privlače

objekte na zadanoj udaljenosti od drugih. Intenzitet gravitacijskog polja varira u skladu s masom objekta koji je izvor toga polja.

Einstein je, u svojoj teoriji relativiteta, naglasio da se masa povećava s brzinom i doseže beskrajnu vrijednost kod brzine svjetlosti. To je jedan razlog zašto objekti s masom ne mogu doseći brzinu svjetlosti, a nekmoli nadmašiti je.

U ovom ćemo poglavlju, međutim, govoriti samo o »masi mirovanja«, o masi što je ima neki objekt kad miruje u odnosu na promatrača koji mjeri masu.

Kad je riječ o masi mirovanja, prihvatljivo je reći da masa nekog objekta odgovara količini tvari koju on sadrži. To jest, dva identična objekta, ako miruju u odnosu jedan prema drugome, imaju ukupno masu dvostruko veću nego svaki od njih zasebno.

Masu obično mjerimo tako da jedan objekt stavimo nasuprot drugome na suprotne plitice vage. Utjecaj Zemljina privlačenja na dva objekta proporcionalan je masi svakoga od njih. Kad je to privlačenje jednako kod oba objekta, tako da su dvije plitice u ravnoteži i nijedna se ne spušta, znamo da je dotad nepoznata masa objekta na jednoj plitici jednaka poznatoj masi zbroja »standardnih utega« što smo ih stavili na drugu.

Ljudi koji nisu znanstvenici obično govore o »težini« nekog objekta a ne o njegovoj »masi«, te kažu da je predmet »teži« ili »lakši«, a ne »masivniji« ili »manje masivan«. Striktno govoreći, to nije ispravno. Težina i masa su zamjenjive na morskoj razini Zemljine površine, ali težina se smanjuje s povećanjem udaljenosti od središta Zemlje, a masa ne. U ovom ću se poglavlju stoga truditi da ne zaboravim govoriti samo o masi, a ne o težini.

Znanstvenicima je korisna jedinica za masu »kilogram« i ja je povremeno upotrebljavam u ovoj knjizi. Da ponovimo, jedan kilogram je 2,2 funte u anglosaksonskim mjerama, ili 35,2 unce. Tisuću kilograma je jedna »tona«, ili 2.205 funti odnosno 1,1 tona u anglosaksonskim jedinicama. U ovom ću poglavlju upotrebljavati samo kilograme i tone.

Tako, prosječna masa odraslog muškarca u Sjedinjenim Državama iznosi 73 kilograma, a odrasle žene oko 60 kilograma.

Ljudska bića sklona su razmišljati o objektima kao o malima i velikima u odnosu na sebe, a veliki su naravno im-

presivniji od malih. Velike životinje raspolažu većom snagom pa su, uglavnom, opasnije od malih.* Praktički tijekom čitave čovjekove povijesti ljudska su bića prema tome živjela u strahu od velikih grabežljivaca.

Iako više nema razloga za takav strah u većem dijelu civiliziranog svijeta, te iako grabežljivce susrećemo samo u zooloških vrtovima i cirkusima, još uvijek povezujemo veličinu i strah te su filmovi koji prikazuju velike životinje kao opasnost gotovo uvijek popularni. Naravno, da bi se postigao efekt, opasnost mora biti prikazana velikom preko svih granica. Moramo se samo prisjetiti onoga klasičnog filma *King Kong* sa svojom nemoguće uvećanom gorilom. Uspjet će gotovo svako nemoguće povećavanje, bili to rakovi, pauci ili dinosaurusi.

Legende govore i o ljudima-divovima. Mogu se pronaći u mnogim narodnim pričama, čak i u bibliji. Takvi, međutim, nisu nikad postojali.

Postoje, dakako, ljudska bića znatno viša i masivnija od prosjeka, ali ti ekstremi općenito predstavljaju hormonalni poremećaj i njegove žrtve kratko žive. Dok je prosječna visina američkog muškarca 1,72 metra, jedan dvadesetdvogodišnji mladić umro je 1940. godine kojega je visina u trenutku smrti bila ništa manja od 2,72 metra. Drugi jedan muškarac koji je umro kad su mu bile trideset i dvije godine, skupio je masu od 480 kilograma tijekom života, 6 i pol puta više od prosjeka. Dakako, suvišna masa sastojala se uglavnom od masnoće.

Ako govorimo o ljudskim bićima u normalnom rasponu visine i mase, tada možemo reći da je suvremeni muškarac sam div toga tipa. Hominidi koji su bili preci *Homo sapiensa* svi bijahu manji od nas.

Postoji samo jedan živući primat koji je još veći od ljudskog bića, a to je gorila, no čak ni gorila nije viši od ljudskog bića (unatoč King Kongu). Ali, mužjak gorile iz nizinskih područja u prosjeku ima masu između 165 i 180 kilograma, što je oko dva i pol puta više od mase ljudskog bića.

Najveći primat koji je ikad živio pripadao je vrsti »*Gigantopitek*« (»divovski čovjekoliki majmun«) koja je izumrla

* To je samo općenita izjava i ima očitih iznimaka. Čegrtuša je mnogo opasnija od krave i svi to znaju.

već najmanje 2,000.000 godina. Bila su to stvorenja slična gorili koja su uspravljena mogla biti visoka 2,75 metra, s masom 275 kilograma, upola više od suvremene gorile i četiri puta više od čovjeka (a ipak ni govora o King Kongu).

Ljudska su bića, naravno, uvijek bila naviknuta na životinje veće i masivnije čak i od najvećeg primata — na konje, bikove, deve. Biblija spominje »behemota« koji je, prema nekim mišljenjima, oblikovan po uzora na vodenog konja, no vodeni je konj ipak veći. Najveća od svih kopnenih živućih životinja je, međutim, afrički slon.

Prosječni odrasli mužjak afričkog slona visok je kod ramena 3,2 metra i ima masu 5.100 kilograma (5,1 tonu). Najveći afrički slon ikada izmjeren bio je visok 3,8 metara i imao je masu 11 tona. Takav jedan slon ima masu kao 150 ljudskih bića. (Neki izumrli slonovi bili su još viši. Postoje izvještaji o visinama čak do 4,8 metara, 2,5 puta više od čovjeka).

Iako se nijedna druga živuća kopnena životinja ne može po masi usporediti s afričkim slonom, jedna (i samo jedna) još je viša, a to je žirafa. Najviša ikada izmjerena žirafa imala je visinu oko 5,8 metara (3 1/3 puta više od prosječnog muškarca), iako je vjerojatno težila samo jednu petinu težine vrlo velikog slona.

Suvremeni slonovi bili su nadmašeni u prošlim vijekovima. Najveći sisavac koji je ikad živio bila je životinja slična nosorogu koja se zvala *Baluchitherium* (»neman iz Beludžistana«) koja je izumrla već 20,000,000 godina. Bila je viša od žirafe i masivnija od slona. Vrh glave bio joj je 8,2 metra iznad tla, upola više od žirafe, a masa joj je iznosila 20 tona, što bi značilo da je bila dvostruko masivnija od slona.

Još su masivniji bili neki izumrli gorostasni reptili koji su prestali postojati prije 65,000.000 godina. Najmasivniji od njih bio je *Brachiosaurus* (»gušter s rukama«, zbog dugih prednjih nogu). On je zapravo bio najmasivnija kopnena životinja ma koje vrste što je ikad postojala. U ramenima je bio visok 6,4 metra, a glava koju je nosio na dugome vratu mogla se uzdizati 11,9 metara uvis, što je dvostruko više od najviše žirafe. Ukupna mu je dužina iznosila 23 metra, a masa mu je bila oko 40 tona — dvostruko više od *Baluchitheriuma* i gotovo četiri puta više od najvećega živućeg slona.

Morske životinje imaju jednu prednost pred kopnenim životinjama. Plovnost vode smanjuje djelovanje gravitacije

na njih pa one ne moraju držati cijelu svoju masu nasuprot gravitacijskoj sili, niti je ne moraju podizati sa svakim korakom. Shodno tome, morske životinje mogu biti veće od svake kopnene životinje.

Najveće životinje koje danas žive različite su vrste kitova, a najveći od svih, živućih ili izumrlih, plavi je kit. Ženke plavog kita ponekad su duže od 30 metara. Najveća koja je točno izmjerena bila je dugačka 33,3 metra i morala je imati masu veću od 135 tona. Takav plavi kit gotovo je upola duži od *Baluchitheriuma* i 3 1/3 masivniji. Što se toga tiče, masa mu iznosi koliko i masa 1.900 muškaraca.

Pa ipak čak ni plavi kit nije najveće živo biće, jer svaku životinju nadmašuje drveće — stabla su najviša i najmasivnija živa bića.

Najviše drveće su mamutovci koji rastu u sjevernoj Kaliforniji, a najviši od njih koji je točno izmjeren imao je 112 metara. Takvo je drvo 3 1/3 puta više od dužine plavoga kita, čak i ako se ne uračuna sustav korijenja stabla ispod tla.

Najmasivnija živa bića su sekvoje. One su niže od mamutovca, ali su šire. Sekvoja »General Sherman« koja raste u Sequoia National Parku visoka je samo 83 metra, ali težina joj se procjenjuje na 2.000 tona, ili gotovo 15 puta više od mase najvećega kita i kao masa 28.000 ljudi. (Dakako, samo mali dijelovi takvih stabala su živi. Veći dio je mrtvo drvo.)

OD ZEMLJE DO SVEMIRA

Na Zemlji, naravno, postoje neživi objekti koji su masivniji od svakoga živog bića. Neke je napravio čovjek — egipatske piramide, na primjer. — Neke nije — Mt. Everest, na primjer. Najmasivniji objekt na Zemlji je, naravno, sama Zemlja.

Kad je Isaac Newton jedanput razradio teoriju gravitacije 1687. godine, postojala je i metoda za izračunavanje mase Zemlje, barem teorijski.

Zemlja na neki objekt djeluje snagom privlačenja. Ako se može odrediti masa tog objekta, njegova udaljenost od središta Zemlje, snaga privlačenja što na nj djeluje i gravitacijska konstanta, tada bi se mogla izračunati i masa Zemlje. Od te četiri vrijednosti, tri su bile poznate ili su se mogle

lako izmjeriti. Nepoznata je bila samo četvrta, gravitacijska konstanta. Ako bi se nekako mogla izračunati gravitacijska konstanta, masa Zemlje smjesta bi se mogla izvesti.

Pretpostavimo, dakle, da se gravitacijska sila između dvaju objekata poznate mase može izmjeriti. Iz te sile, uz poznate mase oba objekta i udaljenost između njih, smjesta bi se mogla izračunati gravitacijska konstanta i masa Zemlje bi bila poznata. Teškoća je u tome što je gravitacijska sila između bilo koja dva objekta dovoljno mala da imaju poznate mase i da se njima može laboratorijski manipulirati — izvanredno mala.

Ipak, 1798. godine engleski je znanstvenik Henry Cavendish (1731—1822) uspio obaviti takvo mjerenje, i učinio je to prilično točno. On je dobio vrijednost gravitacijske konstante i na taj je način odredio masu Zemlje.

Otada je Cavendishova brojka morala doživjeti samo manje ispravke, i masa Zemlje, kako je danas prihvaćena, iznosi 5.976×10^{21} tona; to jest, 5,976,000.000.000.000.000.000 tona. Zemlja, drugim riječima, ima masu kao i tri milijarde milijardi velikih sekvoja.

Pa ipak je Zemlja, iako osamdeset i jedan put masivnija od Mjeseca i deset puta masivnija od planeta Mars, mala u usporedbi s mnogim drugim astronomskim tijelima. Još u vrijeme Cavendishova određenja znalo se da su tri planeta (Jupiter, Saturn i Uran) daleko veća od Zemlje, a četvrti (Neptun) otkriven je 1846. godine.

Sva ta četiri velika planeta imaju satelite. Ako se može odrediti udaljenost nekoga određenog satelita od njegovog planeta, zajedno s njegovim razdobljem revolucije oko tog planeta, te ako se to usporedi s udaljenošću Mjeseca od Zemlje i Mjesečevim razdobljem revolucije oko Zemlje, tada je moguće izračunati masu planeta u odnosu na masu Zemlje.

Na taj se način saznalo da je Jupiter daleko najmasivniji planet. On je 317,9 puta masivniji od Zemlje pa tako ima masu $1,9 \times 10^{24}$ tona. On je više od dva puta masivniji od svega ostalog u Sunčevu sustavu (isključivši Sunce) uzetog zajedno.

Ali Sunce ne smijemo isključiti, jer je ono mnogo masivnije čak i od Jupitera. Iz udaljenosti Zemlje od Sunca i iz razdoblja Zemljine revolucije možemo izračunati Sunčevu masu u odnosu na masu Jupitera.

Sunce je, kako se pokazalo, 1.019 puta masivnije od Jupitera i, prema tome, 324.000 puta masivnije od Zemlje. Sunčeva masa iznosi $1{,}99 \times 10^{27}$ tona i ono sadrži 99,9 posto mase Sunčeva sustava. Jupiter, Zemlja, svi drugi planeti, sateliti, asteroidi, kometi i ostalo čine preostalih 0,1 posto.

A što je sa zvijezdama? Imaju li neke od njih možda veću masu od Sunca?

Njemačko-engleski astronom William Herschel (1738—1822) otkrio je 1793. godine postojanje »binarnih zvijezda« — sustava od dviju zvijezda koje kruže jedna oko druge. Kad bi bile poznate njihove udaljenosti od nas, mogla bi se izračunati stvarna udaljenost koja razdvaja dvije zvijezde, a iz toga, i iz njihova razdoblja revolucije, mogla bi se odrediti njihova ukupna masa.

Udaljenost nijedne zvijezde nije se uspjela odrediti prije 1830-ih godina, a tada su se povećale mogućnosti određivanja mase barem nekih zvijezda.

Primjerice, 1844. godine Bessel je otkrio da Sirius ima zvijezdu pratilju koja je bila suviše blijeda da bi je on mogao razaznati. Znao je, međutim, da postoji jer se Sirius kretao nekom malom orbitom oko *nečega*. Američki izrađivač instrumenata Alvan Graham Clark konačno je 1862. spazio blijedu pratilju.

Na temelju udaljenosti Siriusa, razmaka između Siriusa i njegove blijede pratilje i na temelju komparativne veličine orbita dviju zvijezda, mogla se izračunati masa obiju zvijezda. Siriusova blijeda pratilja ima masu oko 1,05 puta veću od Sunčeve, dok sam Sirius ima masu 2,14 puta veću od Sunčeve.

Sunce, prema tome, nije najmasivniji objekt u svemiru. Pa ipak, zvijezde masivnije od Sunca znatno su rjeđe od onih s masom manjom od Sunčeve.

Engleski astronom Arthur Stanley Eddington (1881—1944) izložio je 1924. godine odnos između mase i sjajnosti zvijezda. Što je zvijezda masivnija to je i sjajnija, pri čemu blistavost raste brže od mase. Ako bi neka zvijezda bila vrlo masivna, ona bi stvarala toliko energije da bi sama sebe raznijela.

Da bi zvijezda ostala čitava, osim u vrlo rijetkim i neobičnim uvjetima, ona može imati masu najviše otprilike sedamdeset puta veću od Sunčeve. Jednu osobito masivnu zvijezdu otkrio je 1920. godine kanadski astronom John Stanley Plas-

kett (1865—1941). Ona ima masu najmanje pedeset i pet puta veću od Sunčeve, ili $1{,}1 \times 10^{29}$ tona.

William Herschel prvi je uočio da zvijezde vidljive na nebu tvore plosnat sustav u obliku leće, ali prošlo je više od jednog stoljeća dok nisu ustanovljene stvarne dimenzije »galaksije Mlječna staza«. Prema udaljenosti Sunca od središta galaksije i razdoblju revolucije Sunca oko toga središta, možemo odrediti ukupnu masu galaksije. Drži se da ta galaksija ima masu 140,000.000.000 puta veću od Sunčeve, ili $2{,}8 \times 10^{38}$ tona. Galaksija vjerojatno sadrži čak 300,000.000.000 zvijezda od kojih je većina, naravno, manje masivna od Sunca.

Do 1920. godine, zahvaljujući ponajprije radu američkog astronoma Hebera Dousta Curtisa (1872—1942), saznalo se da naša galaksija nije jedini postojeći sustav zvijezda. Postojali su i drugi sustavi, prostirući se tako daleko kako su teleskopi mogli prodrijeti. Nadalje, većina tih drugih galaksija bila je manja od naše, s masama koje su samo nekoliko stotina milijuna puta veće od mase našeg Sunca, no postojale su i veće, uz poneku s masom deset bilijuna puta veću od Sunčeve mase.

Prema procjenama, ukupno postoji oko 100,000.000.000 galaksija, a ukupna masa svemira iznosi prema tome oko 2×10^{49} tona — naime, 20,000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000 tona. (Kasnije u knjizi vidjet ćemo kako postoji mogućnost da je svemir više od sto puta masivniji)

Zapanjujuće je da sa svoga mjesta na malom planetu jedne prosječne zvijezde na rubu određene galaksije možemo, manje od dva stoljeća poslije određivanja mase Zemlje, izračunati masu čitavog svemira. Pa ipak, možda je još čudesniji čovjekov prodor u drugome smjeru — prema krajnje malešnome.

PREMA STANICAMA

Ljudska su bića uvijek bila svjesna živih bića s masom manjom od njihove: pasa, mačaka, kućne peradi i bezbrojnih divljih životinja.

Uobičajeni primjer vrlo maloga živog stvora je, međutim, miš. »Malen poput miša« česti je kliše.

Obični kućni miš doista je mala životinja, no postoji mnogo vrsta miševa, a kućni miš nije najmanji. Ta značajka pripada evropskome poljskom mišu koji je upola manji od kućnoga miša. Odrasli poljski miš može biti težak samo 5 grama. Prosječni američki muškarac tako ima masu oko 14.600 puta veću od mase poljskoga miša.

Ipak, poljski miš nije najmanji sisavac. To obilježje pripada patuljastoj rovki koja je teška oko 2 grama. Patuljasta je rovka prema čovjeku ono što je čovjek prema divovskoj sekvoji.

Najmanja ptica je kolibrić koji je, odrastao, također težak 2 grama.

Nijedan toplokrvni stvor, kao što je sisavac ili ptica, ne može imati masu manju od 2 grama.

Ako se nekom objektu smanjuje veličina, njegov se volumen smanjuje znatno brže od površinskih područja. To znači da neka mala životinja ima više površine za svoj volumen od neke veće životinje jednaka općeg oblika. Stvaranje tjelesne topline neke životinje u vezi je s njezinim volumenom; gubitak topline je u vezi s njezinom površinom. Što je, prema tome, neka životinja manja, ona utoliko brže gubi toplinu u usporedbi s količinom topline što je proizvodi.

Ako je neka životinja tako mala poput rovke ili kolibrića, ona može proizvesti jedva točno toliko topline koliko je i gubi, pod uvjetom da praktički neprekidno jede. Stoga rovke i kolibrići jedu gotovo neprekidno čitavo vrijeme kad su budni, pa ipak su neprekidno gladni.

Hladnokrvne životinje, međutim, nisu ograničene gubitkom topline pa mogu biti manje od toplokrvnih životinja. Primjerice, dok je poljski miš dugačak oko 75 milimetara uključivši i rep, najmanji gušter dugačak je zajedno s repom samo 40 milimetara, a postoji i žaba dugačka samo 10 milimetara.

Najmanji kralješnjak u svih vrsta je sićušna riba iz porodice patuljastih glavoča. Dugačka je oko 8 milimetara, a masa joj je samo oko 4 ili pet miligrama. Patuljasta rovka ima masu jednaku kao i 450 patuljastih glavoča.

Insekti su uglavnom manji od kralješnjaka.

Postoje, dakako, neka preklapanja. Najveći insekt, američki golijat (rogač američki), može narasti gotovo 15 centimetara u dužinu i može imati masu od čak 100 grama. Njegova je masa pedeset puta veća nego u patuljaste rovke.

To je, međutim, krajnje iznimno. Muhe i komarci su karakterističniji ukoliko je riječ o veličini insekata. Najmanji insekti su takozvane vilinske mušice koje su dugačke samo 2/5 milimetra. One su tako malene da ih se u najboljem slučaju može vidjeti tek kao običnu mrljicu na jakom svjetlu.

Kad smo kod tako malih organizama, možda bi bilo razložno zapitati se mogu li se oni doista smatrati živima. I moglo bi se činiti bespredmetnim da bi išta manje od toga trebalo smatrati živim.

Prije suvremenog doba, nitko nije ni pomišljao na to da se zapita postoji li možda nešto živo što je tako maleno da je nevidljivo golim okom. Postojalo je izobilje priča o nevidljivosti, no uvijek su nevidljivi objekti bili osjetne veličine — čak veliki — i bijahu nevidljivi samo zbog magičnih čini.

Još u ranom dobu ljudi su sigurno zamijetili da stvari koje se nalaze ispod staklenih predmeta djeluju veće, iako je iskrivljenje obično oduzimalo svaku upotrebljivost. Tek oko 1400-tih godina počeše se upotrebljavati leće koje omogućiše proučavanje malih objekata, kao što su insekti, bolje i lakše nego golim okom.

Problem je bio u tome da se leće proizvedu iz dovoljno visokokvalitetnoga stakla i da njihova zakrivljenost bude dostatno glatka i točna, kako bi se smanjilo iskrivljavanje i tako povećala korisna razina povećanja.

Nizozemski mikroskopičar Anton van Leeuwenhoek (1632—1723) prvi je izradio male povećavajuće leće dovoljno upotrebljive da bi se mogle nazvati »mikroskopom«. On je upotrebljavao svoje leće da bi promatrao sve i sva, i 1677. godine otkrio je u vodi iz jarka sitna stvorenja koja su pokazivala sve znakove da su živa, iako su bila premala da bi se mogla vidjeti bez povećanja. On je otkrio »mikroorganizme«.

Upotrebljavajući »složeni mikroskop« (s više od jedne leće), engleski fizičar Robert Hooke (1635—1703) otkrio je još prije, 1665, da je pluto sastavljeno od sićušnih pravokutnih rupa, suviše malih da bi se vidjele bez mikroskopa. Nazvao ih je »stanicama«.

U kasnijim razdobljima bilo je povremenih zapažanja o tome da su tkiva podijeljena na male segmente koji su, barem u bilja, obilježeni drvenastim pregradama. Pluto se, kao mrtvo tkivo, sastojalo od drvenastih pregrada, a unutrašnjo-

sti su bile prazne. Ti su se segmenti i dalje nazivali stanicama i kad nisu bili prazni, a pregrade su dobile ime »stanične stijenke«.

Njemački botaničar Matthias Jakob Schleiden (18040—81) iznio je 1838. godine mišljenje da su sve biljke sastavljene od stanica koje su strukturne jedinice biljnoga tkiva. Njemački fiziolog Theodor Schwann (1810—82) ustvrdio je iduće godine da to isto vrijedi za životinje, osim što su u životinja stanice razdvojene tankim membranama, a ne razmjerno debelim stijenkama, tako da su manje zamjetljive. Oni su zajedno razradili »teoriju stanice«.

Svi organizmi koji se vide golim okom, od najvećega stabla sekvoje do najmanje vilinske mušice, sastavljeni su od određenog broja stanica, vrlo često od golemoga broja. To su »višestanični organizmi«. Prosječno odraslo ljudsko biće sastoji se od oko 50,000.000.000.000 stanica.

S druge strane, mikroorganizmi koje je otkrio Leeuwenhoek sastojali su se od samo jedne stanice i bili su »jednostanični organizmi«. Jednostanični su organizmi, naravno, mnogo manji od višestaničnih organizama, ali jednako su toliko živi.

No dakako, neke jednostanične jedinke su iznenađujuće velike. Jaja su, na primjer, jednostanične jedinke. Sama stanica je žutanjak jajeta, dok su bjelanjak i ljuska »izvanstanični« dijelovi. Žutanjak je gotovo čitav hrana namijenjena razvoju zametka. Stvarna živa supstanca je tek mikroskopska točkica na površini žutanjka.

Jaja koja se nesu izvan tijela da bi se samostalno razvijala osobito su velika, jer je zaliha hrane u njima sve što će imati zametak u razvoju dok ne postane dovoljno velik da bi živio izvan jajeta. Najpoznatija su ptičja jaja; općenito, što je veća ptica, to je i njezino jaje veće.

Mali kolibrić nese jaje dugačko oko 1 1/4 centimetara, volumena oko 0,4 kubična centimetra. Kokošje jaje, dobro poznato jaje što ga toliki od nas rado jedemo za doručak, dugačko je oko 6 1/4 centimetara, a volumen mu je 50 kubičnih centimetara. Kokošje jaje prema tome ima 125 puta veći volumen od jajeta kolibrića.

Najveća živuća ptica je noj. Visina odrasla noja u leđnom dijelu iznosi čak 1,4 metra, a njegov dugačak vrat može uzdizati glavu do 2,7 metara iznad tla, što je upola više nego

čak i u visoka čovjeka. Postoje izvještaji o masama nojeva od čak 156 kilograma, dvostruko više od mase prosječnog muškarca. Naravno, noj nese jaja veća od ijedne druge ptice.

Nojevo jaje dugačko je oko 20 centimetara i široko oko 15 centimetara, s masom do 1,44 kilograma. Volumen mu je 1.200 kubičnih centimetara, što je oko dvadeset i četiri puta više od volumena kokošjeg jajeta.

Nojevo jaje, međutim, nije najveće postojeće jaje. I ribe nesu jaja, a najveća živuća riba je psina golema koja može doseći dužinu do 18 metara i masu 40 tona, što je oko trećine mase najvećih kitova.

Psina golema nema jajolika jaja poput ptica, već neku vrstu jajne spremnice nepravilna oblika. Pronađeno je jedno takvo jaje dugačko 30 centimetara, široko 13 3/4 centimetara i debelo 8 3/4 centimetara. Volumen mu je bio oko 3.600 kubičnih centimetara, ili tri puta veći od volumena nojeva jajeta. (Moramo se, međutim, prisjetiti da psina golema ima oko 250 puta veću masu od noja.)

Ubrojimo li i izumrla bića, tada dinosauri nose primat. Najveća ikad pronađena dinosaurova jaja bila su dugačka 30 centimetara i široka 25 centimetara. Volumen takva jednog jajeta bio bi 5.000 kubičnih centimetara, ili oko četiri puta veći od volumena nojeva jajeta.

Postoje i izumrle ptice. Najveća ptica koja je ikad postojala bila je gorostasna moa s Novog Zelanda koja je postizala visinu od 4 metra (dvostruko više od vrlo visokog muškarca) i imala masu do 225 kilograma, gotovo upola više od noja.

Ne tako visoka, ali masivnija ptica bio je epiornis (»visoka ptica«), poznat i kao »slonovska ptica«. Visina joj je bila najviše 3 metra, no masa joj je dosezala do najviše 450 kilograma, gotovo tri puta više od mase noja.

Jaje epiornisa bilo je dugačko do 37,5 centimetara i imalo je volumen 8.900 kubičnih centimetara (2 1/3 galona u anglosaksonskim mjerama). Jaje epiornisa imalo je osam puta veći volumen od nojeva, 180 puta veći od kokošjega i 22.500 puta veći od kolibrićeva jajeta. Pa ipak je i jaje epiornisa bilo jedna jedina stanica, najveća stanica koja je ikad postojala na Zemlji.

Jaja sisavaca su mnogo manja. Ona se razvijaju u majčinu tijelu, a embrio u razvitku hrani se poglavito preko posteljice, kroz koju hranjive tvari iz majčina krvotoka mogu

ući u krvotok embrija, dok otpadne tvari prolaze u suprotnom smjeru. Stoga jajna stanica sisavca ili »ovula« ne treba velike zalihe hrane kakve se nalaze u jajima ptica, gmazova i riba.

Jajašce žene, primjerice, veliko je poput glavice pribadače. Ono iznosi samo 1/280.000 veličine jajeta čak i kolibrića i manje od 1/6,000.000.000 jajeta epiornisa.

Volumen ženskoga jajašca nema svrhe izražavati u kubičnim centimetrima; morali bismo baratati neprikladno sićušnim frakcijama. Za te i druge stanice bolje je upotrebljavati kubične mikrometre. Jajašce žene ima volumen oko 1,400.000 kubičnih mikrometara.

Jajašce žene nije tako veliko kao neki mikroorganizmi. Ameba, primjerice, ima mnoga zajednička svojstva kao i životinje općenito i pripada grupi »protozoa« (»praživotinje«). Ameba se sastoji od jedne jedine stanice, no kako živi nezavisno, ta jedna stanica mora obavljati sve bitne funkcije jedne životinje. Ona stoga mora biti umjereno velika. Volumen amebe iznosi oko 4,200.000 kubičnih mikrometara, dakle tri puta je veći od volumena ženskog jajašca.

Postoje neke još veće praživotinje, zapravo toliko velike da su vidljive golim okom i veće od raznih malih višestaničnih životinja. Najveća postojeća praživotinja može imati promjer do 1,5 centimetara. Izumrle protozoe, numuliti, imale su promjer 2,4 centimetra. Tako velik jednostanični organizam lako bi mogao nadmašiti patuljastu rovku ili kolibrića svojom masom.

Većina je stanica mnogo manja. Jaje sisavca mora sadržavati nešto hrane da bi se održao razvitak embrija u početnim fazama, prije nego što se potpuno ne razvije placenta. Stoga je jajašce, iako maleno u usporedbi s amebom, ipak najveća stanica u čovjekovu tijelu.

Mali razmjeri stanica od kojih je sastavljen višestanični organizam, u usporedbi sa stanicama mnogih jednostaničnih organizama, ne smiju nam biti neobični. Funkcije mnogostaničnog organizma raspodijeljene su na razne vrste stanica od kojih je sastavljen. Svaki tip stanice specijaliziran je za ovu ili onu funkciju i ne treba posjedovati sposobnost za sve, kao što to mora jedina stanica jednostaničnog organizma. Tjelesna stanica stoga može biti znatno manja od amebe, a ipak djelotvorno obavljati ono što mora.

Stanica čovjekove jetre, na primjer, koja je zapravo zaposlena kemijska tvornica, ima volumen samo 1.750 kubičnih mikrometara, samo 1/800 volumena ovule i 1/2.400 volumena amebe.

PREMA BAKTERIJAMA

Sama stanica ne predstavlja horizont malešnosti kod živih bića. Stanice nisu samo homogene grudice žive tvari. Ako se proučavaju pod mikroskopom, jasno se može vidjeti da se one sastoje od manjih djelića koji se znatno razlikuju i od kojih svaki, nedvojbeno, ima svoju funkciju.

Najznačajniji od tih subcelularnih djelića prvi je opisao 1831. godine škotski botaničar Robert Brown (1773—1858). Nazvao ga je »jezgra« ili »nukleus« (»orašćić«), zato što je bio smješten blizu središta stanica koje je proučavao; podsjećao je na jezgru oraha unutar stanične ljuske.

Kasnije je otkriveno da je jezgra stanice osobito značajna s obzirom na reprodukciju i način diobe stanice na dva dijela, tako da svaka stanica kći dobije sva svojstva i sposobnosti stanice koja ju je proizvela.

U krvi postoji velik broj tjelešca sličnih stanici koja nisu prave stanice, zato što se nikad ne dijele pa im nisu potrebne jezgre. Ona se proizvode u različitim dijelovima tijela, uglavnom u koštanoj srži, od stanica koje prvobitno *imaju* jezgre. Konačni je proizvod specijaliziran za jednu funkciju: za spajanje s kisikom u plućima i potom za oslobađanje toga kisika u tjelesne stanice općenito. Riječ je o »crvenim krvnim zrncima«.

Crvenim krvnim zrncima nije potreban veliki volumen da bi obavljala svoju funkciju. Volumen čovjekova crvenoga krvnog zrnca je oko 90 kubičnih mikrometara, niti 1/20 volumena jetrene stanice.

Krv sadrži i još manja tjelešca, »krvne pločice« koje imaju volumen samo 7 kubičnih mikrometara. One djeluju na zgrušavanje krvi. Krvne pločice, poput crvenih krvnih zrnaca, nemaju jezgre i nisu prave stanice. One su najmanja stanicama slična tjelešca u tijelu.

Veličina jezgre varira ovisno o tipu stanice, no tipični bi volumen iznosio 35 kubičnih mikrometara, tako da su one manje od crvenih krvnih zrnaca, ali veće od krvnih pločica.

Ni sama jezgra nije homogena masa živoga tkiva. Njemački anatom Walter Flemming (1843—1905) opisao je 1882. godine detaljno ono što se događa u jezgri za vrijeme diobe stanice. On je ta zbivanja razjasnio upotrebom crvene boje koja je obojila neke dijelove jezgre, a druge ne.

Dijelove koji su primili boju nazvao je »kromosomima« (obojenim tjelešcima); bilo je jasno da je prije diobe stanice najvažnija uloga kromosoma. Svaki se kromosom dijelio na dva dijela prije same diobe stanice, a zatim su se svi kromosomi razdvojili tako da je svaka stanica kći dobivala kompletnu garnituru.

Kromosomi postoje u parovima u svakoj stanici. Kad organizam žene stvara jajne stanice, svako jajašce dobiva samo po jedan kromosom iz svakog para. Kad organizam muškarca stvara spermatozoide (ili muške sjemene stanice, koje su u muškaraca analogne jajnim stanicama), svaki od njih dobiva također samo po jedan kromosom iz svakog para, dakle polovični broj kromosoma.

Kod spolne reprodukcije organizama, muška sjemena stanica spaja se sa ženskom jajnom stanicom. Oplođeno jajašce koje tako nastaje ima polovičan broj kromosoma majke i polovičan broj kromosoma oca. Stapanjem tih dviju jezgara nastaje diploidna jezgra s punim brojem kromosoma, i oplođeno jajašce razvit će se u organizam koji nasljeđuje značajke i oca i majke jednako.

Razlika između jajne i sjemene stanice je u tome što prva sadrži polovičan broj kromosoma plus zalihu hrane koja mora potrajati do formiranja posteljice. Sjemena stanica ima samo polovičan broj kromosoma i malo što drugo. Njezin je jedini zadatak da upotrijebi svoj repić (jer sjemena stanica izgleda poput sićušnog punoglavca) kako bi svoj polovičan broj kromosoma dopremila u jajašce. Kad spermij uđe u ovulu, stvar je završena.

Spermij je stoga vrlo mala stanica, jer je čini tek nešto malo više od polujezgre, iako je to dovoljno da bi bio prava stanica. Čovjekova sjemena stanica ima volumen samo oko 17 kubičnih mikrometara, manje od petine volumena crvenoga krvnog tjelešca. Ona je veća od krvnih pločica, ali spermij je najmanja prava stanica u čovjekovu tijelu, kao što je jajašce najveća.

Ženska jajna stanica je oko 82.000 puta veća od muške sjemene stanice. Jajna stanica djelovala bi prema sjemenoj

stanici četrdeset puta većom nego što plavi kit djeluje prema nama.

Jesu li sjemene stanice i krvne pločice konačni horizont malešnosti kad je riječ o živim bićima? Nisu, nipošto!

Van Leeuwenhoek je, promatrajući 1683. godine kroz jedan od svojih malih mikroskopa s jednom lećom, otkrio neka tjelešca upravo na granici vidnosti. Opisao ih je i izradio skice. Nije znao što je to, ali promatrajući ono što je nacrtao, kasniji su mikrobiolozi shvatili da je otkrio ono što će potom dobiti ime »bakterije«. Više od stoljeća nitko ih drugi nije vidio, sve dok ih danski biolog Otto Frederik Müller (1730—84) nije razaznao nešto detaljnije na nešto boljem mikroskopu.

Problem s opažanjem bakterija bio je u tome što su leće mikroskopa stvarale spektar sličan dugi, osim što su povećavale male objekte. To je značilo da su vrlo mali objekti koji su se kroz njih vidjeli bili okruženi kolutom u boji. Što je objekt bio manji, to je u usporedbi s njim kolut bio veći, a bakterije su imale tako izraženi kolut da ih je bilo teško uopće razaznati.

Napokon, 1830. godine, engleski optičar Joseph Jackson Lister (1786—1869) izradio je leće koje ne stvaraju spektar i koje su omogućile da se mali objekti vide bez obojene zamućenosti. Tek su se poslije tog vremena bakterije doista mogle proučavati.

Nedostajao je, međutim, poticaj da se to učini, jer se činilo da ti sićušni djelići života nemaju značenja — barem dok se posla nije prihvatio francuski kemičar Louis Pasteur (1822—95). On je 1865. istraživao jednu bolest dudovog svilca koja je prijetila uništenjem francuske svilarske industrije. U oboljelih svilaca on je zapazio sićušne bakterije kojih nije bilo u zdravim svilcima pa je pomislio da bi takvi mali paraziti mogli biti odgovorni za infektivnu bolest, te da spriječiti ili izliječiti takvu bolest znači spriječiti parazite da se razviju, ili ih uništiti kad se pojave.

»Teorija o klicama kao uzročnicima bolesti« (pri čemu je »klica« izraz za svaki sićušni djelić života, kakav je bakterija), bila je vjerojatno najznačajniji pojedinačni napredak u povijesti medicine i prokrčila je put udvostručenju prosječnoga životnog vijeka ljudskih bića u idućem stoljeću. Ona je također izazvala novo i temeljito zanimanje za bakterije.

Njemački botaničar Ferdinand Julius Cohn (1828—98) bacio se na posao i prvi je shvatio »bakteriologiju« kao posebnu granu znanosti. Godine 1872. objavio je raspravu o bakterijama u tri sveska kojom je, može se reći, utemeljena ta znanost.

Proučavanje bakterija razmaknulo je život do novih horizonata sićušnosti. Najveća poznata bakterija ima volumen možda ne veći od 7 kubičnih mikrometara, što znači da nije veća od krvne pločice i da je više nego upola manja od čovjekova spermija.

Najmanje poznate bakterije doista su malešne trunčice života. Bakterije poznate kao PPLO (»pleuro-pneumonia-like organisms« — pleuropneumonijski organizmi«) otkrivene su u kanalizaciji 1936. godine. Svaka PPLO stanica je sićušna kuglica promjera samo 0,1 mikrometar, što znači da joj je volumen 0,005 kubičnih mikrometara.

To znači da najmanja bakterija ima samo 1/1.400 volumena najveće bakterije i da joj veličina iznosi samo 1/3.500 čovjekove sjemene stanice.

Stanica PPLO je najmanji postojeći organizam koji samostalno živi, koliko znamo — najsićušniji trun života sposoban da živi i da se sam reproducira (pod uvjetom, naravno, da stanica ima prikladnu okolicu, uključujući i hranu). PPLO stanice su najmanje stanice koje sadrže čitav kemijski mehanizam potreban za život.

Procijenjeno je da ti najmanji djelići slobodna života imaju masu otprilike 10^{-15} grama (jednu trilijuntninu grama). Trebalo bi ih 73,000.000.000.000.000.000 da bi im težina bila kao i prosječnoga američkog muškarca.

PREMA VIRUSIMA

Pa ipak, ma kako se činilo nevjerojatnim, čak ni PPLO stanice ne predstavljaju najmanji oblik života.

Postoje neke infektivne bolesti za koje znanstvenici nisu mogli pronaći neke mikroskopske parazite što bi s njima bili povezani. Ili je bila pogrešna teorija o klicama kao uzročnicima bolesti, ili su paraziti postojali ali ih se nije vidjelo. Jedan razlog zašto ih se nije moglo vidjeti bio je da

su bili premali, čak i s najboljim ondašnjim mikroskopima. Sam Pasteur vjerovao je u tu hipotezu »premalenosti«.

Ruski botaničar Dimitrij J. Ivanovski (1864—1920) istraživao je 1892. godine »mozaičnu bolest duhana«, jednu bolest biljke duhana sa simptomima koji su obuhvaćali mrlje na listovima. Ako se oboljeli list zgnječi i sok stavi na zdravu biljku, zdrava će biljka oboljeti.

Ivanovski je sok zaraženog lista propustio kroz fini filter, tako sitan da je zadržavao i najmanje bakterije — a ipak je sok i dalje bio zarazan. To je, 1895, neovisno ponovio nizozemski botaničar Martinus Willem Beijerinck (1851—1931). On je infektivni uzročnik nazvao »virus« — latinskom riječi koja znači »otrov« — jer nije znao kakvo bi mu drugo ime nadjenuo.

Britanski bakteriolog William Joseph Elford (1900—52) upotrijebio je 1931. godine još finiji filtar i uspio zaustaviti infektivni uzročnik. To je pokazalo da je virus neka čestica (vjerojatno živa) koja je još manja od najmanje bakterije.

Američki biokemičar Wendell Meredith Stanley (1904—71), radeći s velikom količinom soka od oboljelih listova duhana, uspio se riješiti svega osim virusa i tada ih je, 1935, kristalizirao. Dobio je mnogo finih igličastih kristala koje je izolirao, otkrivši da posjeduju sva infektivna svojstva virusa u visokoj koncentraciji.

U međuvremenu je razvijena nova vrsta mikroskopa. Obični mikroskopi povećavaju objekte lomom svjetlosti koja se od njih reflektira. To uspijeva samo ako su objekti koji se povećavaju barem malo veći od samih svjetlosnih valova. Ako nisu, svjetlosni valovi ih zakriljuju, da tako kažemo. Svjetlosni su valovi vrlo mali, ali ako je riječ o veličini najmanjih bakterija, oni su s obzirom na veličinu upravo na granici mogućnosti rada s njima.

Elektroni su vrlo sićušne čestice o kojima ćemo govoriti kasnije. Američki fizičar Clinton Joseph Davisson (1881—1958) pokazao je 1927. godine da se elektroni, koji se obično ponašaju kao da su čestice, također na određene načine ponašaju kao da su valovi. Ti su valovi bili mnogo kraći od svjetlosnih valova te ih se stoga moglo upotrijebiti za promatranje mnogo manjih objekata od onih što ih se moglo učiniti vidljivima primjenom svjetlosti.

Elektronski valovi nisu dio elektromagnetskog spektra pa se s njima ne može postupati na isti način. Svjetlosni valovi

mogu se lomiti upotrebom leća, dok se elektronski valovi, budući povezani s električki nabijenom česticom, mogu lomiti primjenom elektromagnetskih polja. Primjenjujući taj princip, rusko-američki fizičar Vladimir Kozma Zvorykin (1889—) izumio je »elektronički mikroskop« i do 1939. je godine imao instrument koji je mogao prodrijeti do dubina malešnosti pedeset puta dalje od najboljega optičkog instrumenta.

Elektronički je mikroskop omogućio prvi puta proučavanje virusa kao vidljivih objekata, ali u početku je bilo znatnih polemika o tome može li ih se smatrati živima.

Bilo je jasno da virusi *nemaju* čitav kemijski mehanizam potreban za neovisan život. Oni su, međutim, mogli prodrijeti u stanicu, a u stanici su iskorištavali stanični mehanizam za svoje potrebe. Mogli su se razmnožavati unutar stanice na njezin račun, ponekad ubijajući stanicu u tom procesu. Bio je to dublji oblik parazitizma od onoga na što su biolozi dotad nailazili, no je li se moglo smatrati životom?

Činjenica da je Stanley kristalizirao viruse djelovala je kao argument protiv toga da su oni živi, jer su se kristali pojmovno dovodili u vezu s kemijskim supstancijama, a ne sa živim organizmima. No, virusi su bili tako mali da ih se moglo smatrati živim organizmima koji se, na određene načine, ponašaju poput kemijskih supstancija.

Presudna je odluka donijeta kad su znanstvenici shvatili ključnu ulogu koju u svih živih organizama imaju nukleinske kiseline, uključujući i vrstu poznatu kao »dezoksiribonukleinska kiselina« što se obično skraćeno piše DNA. Prva spoznaja o tome došla je kao rezultat rada kanadskoga liječnika Oswalda Theodorea Averyja (1877—1955) godine 1944, i zajedničkoga rada engleskoga biokemičara Francisa H. C. Cricka (1916—) i američkoga biokemičara Jamesa Deweyja Watsona (1928—) 1953. godine.

Crick i Watson pokazali su da je DNA bitna grupa molekula u kromosomima koja upravlja proizvodnjom proteina u stanicama i tkivima. Ona također određuje način na koji stanice kćeri nasljeđuju karakteristike stanica od kojih su nastale kod diobe stanice, te djeca od roditelja u reprodukciji organizama. Kromosomska jedinica koja kontrolira proizvodnju određene vrste proteina zove se »gen«.

Pokazalo se da se svi virusi sastoje od nukleinskih kiselina obavijenih proteinskim omotačem. Veći i složeniji od

njih imaju DNA kao varijantu nukleinske kiseline što je posjeduju. Manji i jednostavniji imaju nešto drukčiju varijantu koja se obično skraćeno piše RNA (»ribonukleinska kiselina«). Mozaični virus duhana ima, primjerice, RNA.

Virus se može promatrati kao gen, ili kao grupa gena što postoji izolirano i u stanju je prodrijeti u stanicu te preuzeti (kao uljez) kontrolu koju normalno imaju vlastiti geni stanice.

Kad je riječ o volumenu virusne čestice, bit će bolje upotrijebiti novu jedinicu, »kubični nanometar«, pri čemu jedan kubični nanometar odgovara milijarditom dijelu kubičnoga mikrometra. Na primjer, volumen PPLO koji iznosi 0,005 kubičnih mikrometara, može se izraziti i kao 5,000.000 kubičnih nanometara.

Neki su virusi tako veliki da natkriljuju raspon bakterija. Jedna grupa osobito velikih virusa, na primjer, su »rikecije«, a ime su dobile prema američkom liječniku Howardu Tayloru Rickettsu (1871—1910) koji ih je prvi identificirao, 1906. godine. Tako su veliki da se mogu vidjeti pod optičkim mikroskopom i mogu imati volumen čak deset puta veći od najmanjih slobodnih bakterija. Rikecijama, međutim, nedostaje najmanje jedna vitalna kemijska komponenta i mogu se razmnožavati samo unutar stanica, što vrijedi za viruse.

Rikecije su uzročnici bolesti kakve su pjegavac i tifusna groznica. Volumen rikecije koja je uzročnikom tifusne groznice iznosi 54,000.000 kubičnih nanometara.

Neki manji virus, poput onoga koji je uzročnikom gripe, ima volumen 800.000 kubičnih nanometara i veličina mu iznosi tek nešto više od 1/6 najmanje bakterije. Mozaični virus duhana ima volumen 50.000 kubičnih nanometara, samo 1/100 veličine najmanje bakterije (nije čudno da je prolazio kroz filtere Ivanovskog), a prosječni gen ima volumen 40.000 kubičnih nanometara.

Najmanji poznati virus je onaj što prouzročuje uvijenost gomolja krumpira. Volumen mu može biti samo 200 kubičnih nanometara. Uz takav volumen, veličina bi mu iznosila samo oko 1/2.500 najmanje bakterije, a masa 8×10^{-19} grama.

Na Zemlji postoji zapanjujući raspon oblika života. Da bi se dobila masa jednoga stabla sekvoje, bilo bi potrebno $2{,}5 \times 10^{27}$ (dvije i pol milijarde milijardi milijardi) virusa koji su uzročnici bolesti krumpirova gomolja. A ipak je taj majušni virus jednako živ kao i masivno stablo sekvoje.

Unatoč tome, čak ni najmanji virus nije ono krajnje; on je sastavljen od još manjih djelića, a kad su ljudska bića uzmogla proučavati viruse i određivati njihovu veličinu, horizont malešnosti odmaknut je mnogo dalje od njih.

19

Atomi i dalje

DJELJIVOST TVARI

Antički Grci raspravljali su o tome kako se daleko neki objekt može dijeliti. Grnčarija se može lako razbiti, a krhotine se mogu dalje razbijati na još manje krhotine, dok se sve ne pretvori u finu prašinu. Može li se prašina mrviti sve više i više bez granice? Ili postoji nešto takvo kao što je komadić grnčarije (ili ma čega drugoga) tako malen da se, ni na koji način, ne može podijeliti na nešto još manje?

Ni oni filozofi koji su držali da postoji nešto takvo kao što je najmanji objekt, niti oni što su držali da ne postoji, nisu raspolagali nikakvim eksperimentalnim opažanjima. I jedni i drugi rezonirali su logički, na temelju osnovnih pretpostavki.

Naravno, ako se započinje od različitih pretpostavki, završit će se i s različitim zaključcima. Budući da nijedna grupa zaključaka nije provjerena usporedbom sa samim svemirom, ne postoji nedvojbeni način da se načini izbor. Čovjek bira alternativu koja ga više zadovoljava.

Sve u svemu, najutjecajniji grčki filozofi odlučili su se za beskrajnu djeljivost i nepostojanje bilo kakave konačne čestice.

Prva osoba kojoj znamo ime koja je zagovarala ideju manjine o konačnoj čestici bio je grčki filozof Leukip. Bilo je to oko 450. godine pr. n. e. Čini se također da je on prvi razložio »zakon kauzalnosti« prema kojemu svaki događaj

ima svoj prirodni uzrok. To isključuje sva razmatranja o natprirodnom ili magičnome.

Bolje poznat od Leukipa njegov je učenik Demokrit (470—380. pr. n. e.). Demokrit je tvrdio da se tvar sastoji od sićušnih čestica, tako beskrajno malih da tvar *djeluje* jedinstveno. Držao je kako su te čestice toliko male da se ne može pojmiti ništa manje od njih. Smatrao je da su te čestice nedjeljive pa ih je zato nazvao *atomos*, grčkom riječju za »nedjeljiv«, što je postalo »atom«.

Atomi su, držao je Demokrit, vječni, nepromjenljivi i neuništivi, i osim njih ne postoji ništa. Postoje različite vrste atoma, a svi različiti objekti što postoje sastoje se od kombinacija atoma. Ako su objekti koje poznajemo različiti, to je tako samo zato što su različite kombinacije atoma koje ih sačinjavaju.

U svemu tome Demokrit je, u svjetlu suvremene misli, u biti imao pravo, no nije imao načina da dokaže kako ima pravo pa su njegova stajališta odbačena.

Pretpostavlja se da je Demokrit napisao ukupno sedamdeset i dva sveska, no njegova gledišta nisu bila dovoljno popularna da bi to potaklo prepisivače na mnogostruka prepisivanja tih knjiga. Činjenica što je u početku pripremljeno razmjerno malo kopija, vjerojatno je glavni razlog zašto danas ne postoji nijedan primjerak. Demokritova stajališta poznata su nam samo zato što su ih navodili (obično negativno) drugi filozofi kojih su radovi preživjeli, barem djelomično.

Pa ipak, »atomizam« Leukipa i Demokrita nikad nije potpuno iščeznuo. Uvijek je postojao poneki filozof koji bi prihvaćao to manjinsko stajalište.

Najznačajniji od kasnijih grčkih filozofa koji su to učinili bio je Epikur (341—270. pr. n. e.), osnivač popularne filozofske škole i filozofskoga naučavanja što postade poznato kao »epikureizam«. Naučavao je atomistički pogled na svemir koji su preuzeli njegovi učenici. Nijedna od Epikurovih 300 knjiga nije do danas sačuvana.

Rimski pisac Tit Lukrecije Kar (95—55. pr. n. e.) bio je epikurejac. Godine 56. pr. n. e. objavio je *De rerum natura* (»O prirodi stvari«), gdje opisuje svemir krajnje atomističkim terminima. Držao je da su čak um i duša sastavljeni od atoma, i da su bogovi, ako postoje, također sačinjeni od atoma.

Ni Lukrecijeva jedina knjiga nije se sačuvala. Barem se u srednjem vijeku nije znalo za postojanje nekog primjer-

ka i sva saznanja o knjizi potjecala su iz navoda u drugim izvorima. No tada je, 1417, posve nenadano otkriven jedan jedini rukopis koji je umnožen. Stekao je popularnost.

Godine 1454. njemački izumitelj Johann Gutenberg (1398—1468) stvorio je umijeće tiskanja pomičnim slovima pa je postalo vrlo lako izrađivati identične kopije svake knjige u velikim količinama, i otada do danas nijedna iole značajnija knjiga nije više bila potpuno izgubljena.

Jedna od prvih tiskanih knjiga bila je upravo Lukrecijeva, te su tako grčke atomističke ideje ipak preživjele.

Jedan od novovjekih ljudi koji je bio pod utjecajem Lukrecijeve knjige i koji je prihvatio ideje grčkoga atomizma, bio je francuski filozof Pierre Gassendi (1592—1655). Gassendijeva su pak djela utjecala na irskoga fizičara i kemičara Roberta Boylea (1627—91). Napokon je Boyle (dvadeset i jedno stoljeće nakon što je Leukip prvi izašao s tom idejom) razmotrio atomizam u svjetlu eksperimenta.

On je izvodio pokuse sa zrakom. Zrak ima mnogo manju gustoću od tekućina ili krutina, kao što su voda ili kamen. To znači da određeni volumen zraka ima masu otprilike 1/750 mase istoga volumena vode i manje od 1/2.000 mase istog volumena kamena.

Razlika u gustoći može nastati iz jedne od dviju mogućnosti, prema atomističkom stajalištu. Ili sami atomi zraka imaju mnogo manju gustoću od atoma vode ili stijenja, ili atomi zraka imaju posve jednaku gustoću kao i oni vode i stijenja, ali su raspršeni mnogo rjeđe (ili oboje, naravno, do određena stupnja).

Pretpostavimo slučaj da su atomi tekućina i krutina u međusobnu kontaktu, dok su atomi zraka udaljeni jedan od drugoga i među njima nema ničega, i da zato zrak ima toliko manju gustoću od drugih tvari. U tom slučaju, atome vode ili stijenja koji su u kontaktu ili gotovo u kontaktu, bilo bi teško sabiti (»komprimirati«) kako bi zauzimali manji volumen. Zrak bi, s druge strane, trebalo biti lako sabiti, ako bi se razmaknuti atomi natjerali da se skupe. Zrak bi se mogao stisnuti na isti način kako se može stisnuti spužva, i iz istog razloga. (Takvo je nešto naslutio genijalni grčki inženjer Heroj oko 60. godine nove ere).

Boyle je to iskušao 1662. godine. Upotrijebio je staklenu cijev u obliku slova J kojoj je kraći kraj bio zatvoren. Ulio je živu u dulji, otvoreni krak i ona se skupila na dnu zavijut-

ka, zatvarajući zrak u kraćem dijelu cijevi. Kad je ulio još žive, dodatna težina žive sabila je zrak u kraćem dijelu cijevi. To nije vrijedilo za tekućine i krutine, pa je tako atomizam dobio snažan zamah u svoju korist.

Moglo bi se, naravno, ustvrditi da je to bio samo dokaz atomskoga sastava zraka i drugih plinova. Tekućine i krutine još bi mogle biti kontinualne. No, lako se može postići da voda vri kad se zagrijava, ili da se isparava pri običnim temperaturama, i u oba slučaja postat će vodena para — koja je plin pa se lako može komprimirati. Mnoge krute ili tekuće tvari mogu se pretvoriti u plinovito stanje, pa zato prihvatiti činjenicu da se plinovi sastoje od atoma, znači prihvatiti činjenicu da se *sve* tvari vjerojatno sastoje od atoma.

Moguće bi bilo, naravno, da se tvari doista raspadaju na sitne čestice, no da je taj proces nasumičan tako da su čestice najrazličitijih veličina te nemaju fundamentalnog značenja. Isparavanje i vrenje moglo bi jednostavno razbiti neku tvar, kao što udarac čekića razbija kamen, a nastale čestice mogle bi se uvijek rastavljati na još manje komadiće.

Ta je ideja napuštena s početkom rada francuskog kemičara Josepha Louisa Prousta (1754—1826). Proust je 1799. pokazao da je jedna tvar, bakreni karbonat, sastavljena od bakra, ugljika i kisika, i da je uvijek sačinjava isti težinski omjer svakog tog sastavnog dijela. Bez obzira na način priprave bakrenoga karbonata u laboratoriju, ili njegova izoliranja iz stijenja, 10 grama bakrenog karbonata uvijek je sadržavalo 5 grama bakra, 4 grama kisika i jedan gram ugljika.

On je dalje pokazao da slična situacija postoji i kod brojnih drugih tvari te je formulirao općenit zaključak prema kojem svi spojevi (tvari sastavljene od raznih vrsta atoma) uvijek sadrže elemente (tvari sastavljene od jedne vrste atoma) u stanovitim određenim proporcijama i nikako drukčije. To se zove »zakon konstantnih proporcija«.

Ako bi tvar bila kontinualna i ako bi se mogla razbijati na komadiće najrazličitijih veličina, činilo bi se vrlo vjerojatnim da bi se različiti elementi mogli spajati u bilo kakvim proporcijama, upravo kao što se šećer u prahu i kakao u prahu mogu miješati u svakom omjeru. Postojanje zakona konstantnih proporcija, prema tome, čini se da implicira kako je svaki element sastavljen od određenih fundamental-

nih čestica točno određene veličine koje se mogu spajati samo u stanovitim odnosnim brojevima. A te fundamentalne čestice moraju biti atomi o kojima su govorili Leukip i Demokrit.

ATOMSKE TEŽINE

Primijenivši Proustova otkrića i druga kemijska zapažanja koja su pružala sve više vjerodostojnosti ideji atomizma, engleski kemičar John Dalton (1766—1844) formulirao je, počevši 1803, »atomsku teoriju tvari«. Dug prema antičkim grčkim filozofima izrazio je time što je prihvatio riječ »atom« za krajnje čestice.

On je tvrdio da su svi atomi nekog određenog elementa identični i da se atomi jednoga elementa razlikuju od atoma drugih elemenata. Utoliko je pratio Demokrita. Dalton je, međutim, pošao i dalje; on je držao da se atomi razlikuju po masi i da je moguće izmjeriti njihove odnosne mase. Čak je iznio prijedloge o tome kakav je točno međusobni odnos masa stanovitih atoma.

Daltonove brojke za »atomske težine«, kako su nazvane te mase (doduše netočno, jer bi »atomske mase« bilo bolje) nisu bile posve točne. Prve prihvatljivo točne atomske težine izračunao je, počevši 1828. godine, švedski kemičar Jöns Jakob Berzelius (1779—1848), pomnjivim analizama različitih spojeva.

Berzelius je kao standard uzeo masu kisikova atoma, odredivši da je ona 16. Uzme li se to kao standard, atomska težina sumpora je 32. Drugim riječima, atom sumpora ima dvostruko veću masu od atoma kisika.

Neki atomi imaju još veću masu. Atom s najvećom masom koji se u prirodi pojavljuje u umjerenim količinama je uranov atom. Njegova je atomska težina 238, tako da atom urana ima gotovo petnaest puta veću masu od atoma kisika. U posljednjih desetljećima u laboratorijima su proizvedeni atomi s još većim masama, a atomskim težinama koje prelaze 260.

U drugome smjeru, postoje atomske težine manje od kisikove. Atomska težina dušika je 14, ugljika 12. Najmanju atomsku težinu od svih ima atom vodika i ona iznosi 1.

No kako su veliki pojedinačni atomi u kategorijama običnih jedinica mase i volumena?

Poznavanje *relativne* mase nije od koristi. Može se znati da atom sumpora ima dvostruko veću masu od atoma kisika, no to samo neće nam reći koliko mase svaki atom stvarno posjeduje ako se mjeri u gramima, ili koliko je u metrima širok svaki atom.

Mogući ključ za rješenje pojavio se 1811, kad je talijanski fizičar Amadeo Avogadro (1776—1856) iznio dokaze koji su doveli do zaključka da slični volumeni različitih plinova sadrže sličan broj čestica tvari. Ako jedan plin ima tri puta veću gustoću od drugoga, to bi značilo da je uzrok u tome što pojedine čestice koje sačinjavaju prvi plin imaju tri puta veću masu od čestica koje sačinjavaju drugi plin. »Avogadrova hipoteza« bi se prema tome mogla primijeniti za određivanje atomskih težina prema relativnim gustoćama.

Ta je hipoteza s početka zanemarena, zato što je bila pogrešno shvaćena. Kemičari nisu shvatili činjenicu da čestice koje sačinjavaju plinove nisu nužno pojedinačni atomi. One bi mogle biti grupacije dva ili više atoma koji se manje ili više stalno drže zajedno, grupacije što se zovu »molekule«. Tako se plin kisik sastoji od molekula kisika od kojih je svaka sastavljena od jednog para kisikovih atoma, dok je vodena para sastavljena od molekula vode pri čemu se svaka sastoji od tri atoma, dva vodikova i jednoga kisikovog atoma.

To znači da, iako jednaki volumeni kisika i vodene pare sadrže jednak broj čestica (molekula!), ukupan broj *atoma* u volumenu kisika iznosi samo 2/3 broja atoma u volumenu vodene pare.

To je konačno bilo razjašnjeno tek 1860. Te godine, na međunarodnoj konferenciji kemičara (prvoj takvoj konferenciji koja je ikad održana), talijanski kemičar Stanislao Cannizzaro (1826—1910) u uvjerljivom je izlaganju bjelodano objasnio razliku između atoma i molekula, te kako valja uspješno primijeniti Avogadrovu hipotezu.

Kako je atomska težina kisika 16, kemičari počeše govoriti o »molekularnoj težini« kisika koja iznosi 32, jer je svaka molekula kisika sastavljena od dva kisikova atoma. Molekularna težina vode je 18, jer je svaka molekula vode sastavljena od jednog atoma kisika (atomska težina 16) i dva atoma vodika (svaki s atomskom težinom 1).

Masa pojedine molekule kisika ne mora biti poznata, ali zna se da određen broj (nazovimo ga N) molekula kisika ima težinu 32 grama. Isti broj molekula vode imao bi težinu 18 grama, jer relativna masa molekule vode prema molekuli kisika iznosi 18 prema 31. Zapravo, taj isti broj *bilo kojih* molekula imao bi masu x grama, ako bi ta molekula imala molekularnu težinu x.

Budući da to proizlazi iz Avogadrove hipoteze, N se zove »Avogadrov broj«.

Sada je pitanje: koju vrijednost ima Avogadrov broj? Ako se to odredi, bit će poznata masa pojedinih molekula i pojedinih atoma od kojih je ta molekula sastavljena.

Na to pitanje, međutim, nije lako odgovoriti. U početku su kemičari mogli biti sigurni jedino u to da je Avogadrov broj vrlo velik.

VELIČINA ATOMA

Put prema odgovoru otvoren je 1827, kad je Robert Brown (koji će kasnije otkriti jezgru stanice) promatrao pod mikroskopom suspenziju zrnaca peluda u vodi. Zamijetio je da se pojedina zrnca nepravilno gibaju. Držao je da je to posljedica života skrivenog u zrncima peluda. Kad je, međutim, proučavao čestice boje iste veličine, također u suspenziji s vodom, otkrio je prisutnost istoga nepravilnog gibanja, unatoč činjenici da te čestice nipošto nisu bile žive.

Ta se pojava spominjala kao »Brownovo gibanje« i nekoliko je desetljeća ostala tajnom.

Škotski matematičar James Clark Maxwell (1831—79) je 1860. godine temeljito analizirao svojstva plinova, pod pretpostavkom da su oni sastavljeni od atoma ili molekula koji se brzo i kaotično gibaju u svim smjerovima. Ta je pretpostavka vrlo dobro objasnila svojstva plinova pa je ta »kinetička teorija plinova« vrlo brzo prihvaćena.

Bilo je jasno da atomi ili molekule tekućina i krutina ne mogu imati nesputano gibanje kakve bi imali u plinovima, ali svakako je postojalo *neko* gibanje. U tekućinama, atomi ili molekule promicali bi jedni kraj drugih poput ljudi u gomili; u krutinama, mogli bi vibrirati na mjestu poput nemirnih vojnika u formaciji.

Kad se to shvatilo, moglo se razumjeti i Brownovo gibanje. Svaki objekt u suspenziji s tekućinom bio bi sa svih strana izložen guranju molekula koje se gibaju u tekućini. U cjelini, iz svih mogućih smjerova udarali bi jednaki brojevi tako da bi krajnji rezultat bila ravnoteža, tako da se neki objekt u suspenziji ne bi gibao. Dakako, zakoni slučajnosti osigurali bi uvijek nešto više udara iz jednoga smjera nego iz drugog u svakom danom trenutku, no među mnogo bilijuna udaraca ne bi bilo važno nekoliko dodatnih tu ili tamo.

Što je manji objekt u suspenziji, to će biti i manji broj molekula tekućine koje ukupno udaraju o nj, tako da postojanje ponekog dodatnog udarca u ovom ili onom smjeru postaje opsegom razmjerno veće. Kod objekata malih poput zrnaca peluda, nekoliko dodatnih udaraca iz jednog smjera primjetno će gurnuti pelud; tada će ga nekoliko dodatnih udaraca iz drugog smjera odgurnuti drugim putem. Neizbježno će uslijediti kaotično trzanje Brownova gibanja. Tu je postojalo nešto vidljivo što je ovisilo o gibanju nekoliko pojedinačnih atoma ili molekula.

Švedski student kemije Theodor H. E. Svedberg (1884—1971) sugerirao je takvo tumačenje Brownova gibanja 1902. godine. Tada je Einstein, 1905, iste godine kad je postavio svoju specijalnu teoriju relativiteta, objavio matematičku analizu Brownova gibanja na toj osnovi. U završnu jednadžbu uključen je Avogadrov broj. Ako bi bile poznate sve druge veličine u jednadžbi, mogla bi se izračunati i vrijednost Avogadrova broja.

Francuski fizičar Jean Baptiste Perrin (1870—1942) prihvatio se eksperimenta koji bi mu omogućio određivanje vrijednosti različitih veličina u Einsteinovoj jednadžbi.

Godine 1908. on je napravio suspenziju smole kaučuka u vodi. Kad bi bile izložene samo gravitaciji, čestice bi pale na dno cjevčice. No zbog Brownova gibanja čestice se trzaju i ostaju na različitim visinama iznad dna.

Prema Einsteinovoj jednadžbi, broj čestica pronađenih na sve većim visinama iznad dna cjevčice morao bi se na određeni način smanjivati, i Perrin je otkrio da se taj broj doista smanjuje, točno kako je predskazano. Na temelju tih zapažanja on je pronašao sve vrijednosti u Einsteinovoj jednadžbi, osim Avogadrova broja. Kad je to učinjeno, mogao se izračunati Avogadrov broj. Perrin je to napravio i bio je

prva osoba koja je dobila prihvatljiv pojam o stvarnoj veličini atoma i molekula.

Najbolja vrijednost koju danas imamo za Avogadrov broj je oko $6{,}022 \times 10^{23}$, ili nešto više od sto milijardi bilijuna. Bilo bi potrebno upravo toliko molekula kisika da bi se dobila masa od 32 grama; upravo toliko molekula vode da bi se dobila masa od 18 grama; i upravo toliko molekula vodika (svaka sastavljena od dva atoma vodika) da se dobije masa od 2 grama. Toliko pojedinačnih vodikovih atoma, atoma s najmanjom masom, imalo bi masu 1 gram.

Jedan atom vodika imao bi težinu $1/6{,}022 \times 10^{-23}$ grama, ili $1{,}67 \times 10^{-24}$ grama, ili nešto više od jedne bilijuntnine bilijuntine grama. (Drugi atomi imali bi, naravno, proporcionalno veću težinu.)

Nije prema tome čudno što je trebalo toliko mnogo vremena da se zaključi kako je tvar sastavljena od atoma, a da i ne govorimo o njihovoj masi. Čudno je što se to uopće moglo učiniti.

Budući da 18 grama vode ima volumen 18 kubičnih centimetara i sadrži $6{,}022 \times 10^{23}$ molekula vode, lako je izračunati koliko je volumen jedne molekule vode i, radeći s drugim supstancijama, kakav je volumen pojedinačnih atoma raznih vrsta.

Atomi vodika, primjerice, ako se pretpostavi da imaju okrugli oblik, imali bi promjer $1{,}35 \times 10^{-1}$ metara, ili nešto više od desetmilijarditog dijela metra. Atomi s većom masom nešto su malo veći, no čak ni najmasivniji poznati atom vjerojatno nije u promjeru širi od 8×10^{-10} metra.

To znači da bi se oko 405 vodikovih atoma mogla sažeti u jedan kubični nanometar, te da virus koji izaziva bolest krumpirova gomolja, najmanji poznati fragment života, sadrži nekih 75.000 atoma.

ELEKTRONI

Pa ipak, ma kako bilo zapanjujuće, kad je određena veličina i masa vodikova atoma, on više nije bio na horizontu malešnosti. Znanstvenici su odmakli mnogo dalje.

Antički Grci definirali su atome kao najmanje čestice koje mogu postojati, a suvremeni kemičari 1800-tih godina suglasili su se s tim. Svakako, sva kemijska otkrića jedno

stoljeće poslije Daltonova iznošenja atomske teorije, kao da su to potvrđivala. Atom vodika, kao najmanji atom, činilo se da je bio najmanji djelić tvari što uopće može postojati.

Početak novog napredovanja proizašao je iz eksperimenata s elektricitetom. Znanstvenici su znali da će električna struja lako prolaziti kroz metale i druge »vodiče«. Oni su znali da takve struje mogu (uz dovoljno sile) preskočiti preko nevodiča. Struja, na primjer, može preskočiti preko zraka, stvarajući iskru i pucketanje.

Stoga je bilo logično pitanje bi li se električna struja mogla natjerati kroz vakuum. Jedan njemački izumitelj, Heinrich Geissler (1814—79), slučajno je 1855. domislio novi i bolji način ispumpavanja zraka iz staklenih cijevi. Na taj je način stvorio bolji vakuum kojim su znanstvenici mogli raditi.

U »Geisslerove cijevi« uzidan je metal na dva mjesta, tako da je između njih bio vakuum. Zatim je električna struja puštena od jednoga komada metala, »katode«, preko vakuuma, do drugoga komada, »anode«.

Njemački fizičar Julius Plücker (1801—68), eksperimentirajući na taj način 1858, zapazio je zelenkasto fluorescentno svjetlucanje na katodi. Drugi njemački fizičar, Eugene Goldstein (1850—1931) zaključio je da se ta fluorescencija sastoji od zračenja što izlazi iz katode pa je 1876. godine nazvao tu pojavu »katodne zrake«.

Slijedila su dva desetljeća rasprava o tome jesu li katodne zrake zračenje slično svjetlosti, ili se sastoje od struje čestica. Godine 1895. pokazao je Perrin (koji će kasnije prvi izmjeriti veličinu atoma i molekula) da kad katodne zrake ozrače cilindričnu elektrodu, ona dobiva negativni električni naboj koji se s vremenom povećava. Zračenja slična svjetlosti, koliko se znalo, nisu bila u stanju prenositi električni naboj, pa se zbog toga činilo da se katodne zrake sastoje od čestica.

Čestice katodnih zraka smatrale su se fundamentalnim česticama elektriciteta pa je nizozemski fizičar Hendrik Antoon Lorentz (1853—1928) predložio da se one nazovu »elektroni«.

Budući da su imali električni naboj, elektrone su u njihovu letu mogle skretati druge električki nabijene čestice, kao i magneti. Engleski fizičar Joseph John Thomson (1856

—1940) uspio je i prikazati ta skretanja i, na temelju njihova opsega, izračunati masu elektrona 1897. godine. Pokazalo se da je ta masa nevjerojatno mala — samo 1/1.837 mase vodikova atoma ili $9{,}1 \times 10^{-28}$ grama.

Elektron nije bio povezan samo s električnim strujama. Njemački fizičar Philipp E. A. Lenard (1862—1947) počeo je 1902. godine proučavati stanovite električne efekte što su nastajali u metalu kad bi na nj pala svjetlost. Otkrio je da, zbog utjecaja svjetlosti, atomi metala izbacuju elektrone. Zbog tog se »fotoelektričnog efekta« činilo dosta vjerojatnim da atomi sadrže elektrone. Štoviše, kako su svi različiti metali emitirali identične elektrone, koliko se to moglo odrediti, počelo se činiti da su elektroni uobičajena komponenta svih atoma.

Po prvi puta, znanstvenici dođoše do uvjerenja da su atomi, iako najmanji objekti s kojima imaju posla kod običnih kemijskih zbivanja, ipak kompleksni objekti sastavljeni od još manjih jedinica. Elektroni su bili prve otkrivene »subatomske čestice«.

ATOMSKA JEZGRA

U međuvremenu, 1896. godine, otkrivena je radioaktivnost. Ubrzo se saznalo da postoje tri tipa radijacija što ih zrači uran. Nazvani su »alfa-zrake«, »beta-zrake« i »gama-zrake«, prema prva tri slova grčke abecede. Pokazalo se da su »gama-zrake« po karakteru slične svjetlosti, ali krajnje kratkih valnih dužina. Beta-zrake sastojale su se od struja jurećih elektrona.

Alfa-zrake su, međutim, bile nešto novo. One su bile struje čestica s masom mnogo većom od elektrona, zapravo 7.000 puta većom, pa su tako bile četiri puta masivnije od atoma vodika. Unatoč tome, činilo se da su alfa-zrake bile neobično male, jer su mogle prolaziti kroz tanke slojeve tvari, nešto što atomi nisu mogli.

Britanski fizičar Ernest Rutherford (1871—1937) bombardirao je tvar strujama alfa-čestica. Počevši 1906, otkrio je, primjerice, da alfa-čestice mogu proći kroz zlatnu foliju debelu pol mikrometra, kao da tamo nema ničega. Nisu se ni zaustavile, ni usporile niti su skrenute sa svoga puta. Pol mikrometra je, dakako, neobično malo, no ta je debljina do-

voljna da se u njoj nađe šest ili sedam atoma zlata. Alfa-čestice morale su proći kroz sve njih.

No, nekoliko alfa-čestica *bilo je* skrenuto sa staze — čak dosta oštro. Zapravo, tek bi samo pokoja alfa-čestica odskočila izravno unatrag kad bi pogodila zlatnu foliju.

Rutherford je 1911. godine obznanio svoju interpretaciju tih zapažanja. Atom se sastoji, rekao je, od vrlo male jezgre koja sadrži gotovo čitavu masu atoma, a oko nje se nalazi oblak vrlo laganih elektrona. Alfa-čestice, prolijećući kroz zlatnu foliju, prolaze, u većini, kroz elektronima ispunjen rub atoma, jer vanjski slojevi atoma zauzimaju gotovo čitav volumen atoma. Pri tome one nisu izložene nikakvu djelovanju koje bi se moglo otkriti, jer elektroni imaju mnogo manju masu od alfa-čestica.

No, nekoliko čestica, posve slučajno, proći će pokraj masivne jezgre nekog atoma i to će ih skrenuti. Tek će rijetka alfa-čestica doista izravno udariti o jezgru te odskočiti unatrag.

Pokazalo se da jezgra ima pozitivan električni naboj. Engleski fizičar Henry G. J. Moseley (1887—1915) pokazao je 1914. godine da svaki različiti element ima atomsku jezgru s određenom veličinom električnog naboja. U svakom tom slučaju, naboj se neutralizira negativno nabijenim elektronima na rubovima.

Tako atom kisika ima jezgru s nabojem +8, dok se oko njegove jezgre nalazi osam elektrona, svaki s nabojem —1. Kao rezultat toga, atom kisika kao cjelina je električki neutralan. Atom urana ima jezgru s nabojem +92 i posjeduje, kao ravnotežu, devedeset i dva elektrona na rubovima.

Rutherford je izrazio mišljenje, također 1914. godine, da atomska jezgra dobiva svoj pozitivni električni naboj otuda što posjeduje određen broj čestica, svaku s nabojem +1. Tu česticu s jediničnim pozitivnim nabojem nazvao je »proton«. Naboj protona veličinom je točno jednak naboju elektrona, iako suprotnog obilježja; no proton ima 1.836 puta veću masu od elektrona.

Jezgra ne sadrži samo protone. Engleski fizičar James Chadwick (1891—1974) otkrio je 1932. godine jednu subatomsku česticu koja je imala tek neznatno veću masu od protona (i 1.838 puta veću od elektrona), ali koja nije imala uopće nikakva naboja. Bila je električki neutralna pa je nazvana »neutron«.

Atomska jezgra sagrađena je od protona i neutrona, a svaki različit tip atoma sastavljen je od drukčije kombinacije.

Svaki element ima stalan broj protona u svojoj jezgri, no broj neutrona može se u malom stupnju mijenjati. Svaki različiti broj neutrona rezultira unekoliko različitom podvrstom (»izotopom«) elementa. Primjerice, svi atomi kisika imaju osam protona u svojim jezgrama. Većina ih ima i osam neutrona, i tada su oni primjeri izotopa »kisik-16«. Broj 16 predstavlja ukupan broj protona i neutrona. Neki atomi kisika imaju devet, ili čak deset neutrona u jezgri uz osam protona, i to su »kisik-17« i »kisik-18«.

Najmanje jezgre su vodikove, jer imaju naboj +1. Gotovo svi atomi vodika imaju jezgre koje se sastoje samo od jednoga protona i ničega drugog, i to je »vodik-1«. Vodikovi atomi mogu imati i jedan neutron, ili čak dva, u svojoj jezgri, i to je onda »vodik-2« i »vodik-3«.

Kad je riječ o veličini, kod subatomskih čestica nailazimo na teškoće. Sve čestice imaju svojstva valova, a što čestica ima manju masu, to je izraženiji taj valni aspekt. Elektron ima tako malu masu da je teško govoriti o nekoj njegovoj određenoj veličini. On je više poput raširenoga vala.

Protoni i neutroni imaju dovoljno veliku masu tako da prevladava aspekt čestice u njihovoj prirodi; kao čestice, svaki ima promjer otprilike $2{,}5 \times 10^{-15}$ metara ili 2,5 trilijuntnina metara. Složenije su jezgre nešto veće, kako u njima ima sve više protona i neutrona. Najveća jezgra što se pojavljuje u prirodi je jezgra urana-238 koja sadrži devedeset i dva protona i 146 neutrona. Promjer joj je $1{,}55 \times 10^{-14}$ metara, tako da je oko 6,2 puta šira od protona.

Kod svakog atoma, jezgra ima oko 1/100.000 promjera atoma kojega je dio. Kad bi atom bio šuplja kugla, mogao bi se ispuniti s oko 10^{15} ili jednim trilijunom jezgri.

NEUTRINA

Čak ni protoni i neutroni ne predstavljaju granice malešnosti. Godine 1953, američki fizičar Murray Gell-Mann (1929 —) iznio je mišljenje da su protoni i neutroni sastavljeni od tri još fundamentalnije čestice koje je nazvao »kvarkovi-

ma«. Unatoč tome, ne trebamo očekivati da ćemo stići imalo dalje s obzirom na volumen, jer ispod protona i neutrona volumen gubi neko značenje.

No kad je riječ o masi, konačnome horizontu bliži je elektron, sa svojom masom od $9{,}1 \times 10^{-28}$ grama. Elektron je zapravo čestica s najmanjom masom za koju se zna da ima električni naboj, pa je dugo postojao osjećaj kako smo u tom smislu dosegli horizont malešnosti.

Postoje zapravo čestice s manje mase od elektrona, ali sve su one bez električnog naboja. Štoviše, te čestice manje od elektrona sve imaju (ili se drži da imaju) masu jednaku nuli, stoga se obično ne smatra da su to čestice tvari.

Postoje tri vrste čestica s nula-masom: fotoni koji su fundamentalne čestice svjetlosti i srodnog zračenja; gravitoni koji su, kako se drži, fundamentalne čestice gravitacijskog međudjelovanja, no koji još nisu otkriveni; i neutrina.

Neutrina su, kako se čini, najbliža ništavilu od ta tri tipa. Dok fotoni i gravitoni lako uzajajmno djeluju s tvarima, kod neutrina nije tako. Oni prolaze kroz tvar kao da tamo nema uopće ničega. Snop neutrina može proći kroz cijelo Sunce i jedva da će pri tome doživjeti kakav utjecaj. Povremeni neki neutrino, između mnogo bilijuna, može pod pravim kutom pogoditi jezgru i tada nastaje međusobno djelovanje, ali ništa više.

Postojanje neutrina prvi je pretpostavio 1931. godine austrijski fizičar Wolfgang Pauli (1900—58) iz čisto teorijskih razloga. Krajnja poteškoća da se otkrije nešto bez mase, bez naboja i bez sklonosti interakciji bila je takva, da je neutrino otkrio tek 1956. američki fizičar Frederick Reines (1918— —).

Godine 1980, međutim, na temelju eksperimenata i u Sjedinjenim Državama i u Sovjetskom Savezu, pojavila se eventualna mogućnost (jer su zapažanja na samoj granici onoga što je moguće otkriti) da neutrina imaju mase koje ne iznose *baš* ništa. Masa neutrina mogla bi iznositi oko 1/13.000 mase elektrona, ili oko 1/23,000.000 mase protona.

Ako je to točno, tada je neutrino smješten na niži horizont mase, jer njegova masa iznosi otprilike 7×10^{-32} grama, ili sedamstomilijuntina bilijuntine bilijuntine grama.

Sad možemo shvatiti čitav raspon mase svemira. Zamislimo trideset velikih, gorostasnih stabala sekvoje. Neutrino

je prema njima u odnosu u kakvom su ona prema čitavom svemiru, sve do najudaljenije zvijezde, a čovjekov um protegnuo se u oba smjera, da bi izmjerio i najveće i najsićušnije mase.

20

Gustoća i pritisak

ANTIČKE GUSTOĆE

Pri bavljenju masom, ponekad nije važna samo količina. Uz nju, značajno može biti i to kako je čvrsto masa zbijena — koliko mase ima u zadanom volumenu. Ta »masa po volumenu« je »gustoća«, a određena tvar, pod određenim uvjetima, ima karakterističnu gustoću.

Kad je uspostavljen metrički sustav, vrijednost grama i metra smišljeno je odabrana tako da bi jedan kubični centimetar vode imao masu 1 gram. Gustoća vode je prema tome 1 gram po kubičnom centimetru.

Prva mjerenja zapravo nisu bila posve točna te se danas uzima da je gustoća vode, u standardnim uvjetima pritiska i temperature, 0,999973 grama po kubičnom centimetru. Ta devijacija od 1 je, naravno, tako mala da jedva može imati značenje za ikoga osim za profesionalne znanstvenike. Gustoća vode također se mijenja s pritiskom i temperaturom, no samo do razmjerno manjeg stupnja. Mi ćemo i dalje uzimati da je gustoća vode 1 gram po kubičnom centimetru.

U današnje vrijeme općeprihvaćeni sustav jedinica je »SI verzija« (Système International) metričkog sustava, u kojoj se kilogrami i metri upotrebljavaju umjesto grama i centimetara. Jedan kilogram, naravno, ima 1.000 grama, a jedan metar 100 centimetara.

Jedan kubični metar $100 \times 100 \times 100$ ili 1,000.000 kubičnih centimetara. Ako težina jednoga kubičnog centimetra vo-

de ima težinu 1 gram, tada 1,000.000 kubičnih centimetara (1 kubični metar) vode mora biti težak 1,000.000 grama, što je 1.000 kilograma.

Voda, prema tome, ima gustoću 1.000 kilograma po kubičnom metru (ta je vrijednost već upotrijebljena u knjizi).

Kad se voda smrzne, molekule od kojih je sačinjena poprimaju labaviju konfiguraciju. Masa se širi na nešto veći volumen i gustoća se smanjuje. Gustoća leda je oko 917 kilograma po kubičnom metru.

Krutine plutaju na vodi ako imaju gustoću manju od vode. Led, prema tome, pluta na vodi. To je neobična situacija, jer gotovo sve tekućine osim vode postaju gušće kad se smrznu.

Drvo je još jedna česta tvar koja pluta na vodi. Razne vrste drva sastavljene su od sličnih tvari koje su same nešto gušće od vode. Drvena vlakna su međutim povezana manje ili više labavo pa zauzimaju veći volumen nego što bi bio slučaj da su kompaktna.

U nekih vrsta drva vlakna su doista kompaktna pa imaju gustoću kao i voda ili veću. No većina vrsta drva ima labavu strukturu pa im gustoće iznose između pola i tri četvrtine gustoće vode. Balzovina ima vrlo labavo povezana vlakna pa joj gustoća iznosi samo oko 140 kilograma po kubičnom metru, najviše.

Obično se kaže da drvo pluta na vodi zato što je »lakše« od vode. Ta je tvrdnja nepotpuna. Pri tome se zapravo misli da je *zadani volumen* drva lakši, ili da ima manju masu, od istog volumena vode. Drugim riječima, drvo ima *manju gustoću* od vode pa zato pluta.

Većina uobičajenih predmeta ima gustoću veću od vode, pa će zato potonuti ako se stave na vodu. Kamenje će potonuti, na primjer. Razne vrste stijenja imaju različite gustoće, no tipična gustoća raznog stijenja koje sačinjava Zemljinu koru iznosi oko 2.800 kilograma po kubičnom metru, a to je 2,8 puta više od gustoće vode.

Metali općenito imaju gustoću veću od vode. To pravilo ima iznimaka. Metal litij, na primjer (gustoće najmanje od svih metala) ima gustoću samo 534 kilograma po kubičnom metru, a to je nešto malo više od pol gustoće vode. (On može plutati na vodi, ali on k tome reagira s vodom pa se postupno otapa kad je u kontaktu s njom.)

Litij, međutim, i svi ostali metali malih gustoća, otkriveni su tek u suvremeno doba. Antički narodi poznavali su samo sedam metala (uz razne njihove mješavine ili legure) i svi oni imaju znatno veću gustoću od vode, ili čak stijenja. Lako je moguće da je upravo neobična gustoća, kao i izgled maloga grumenja najprije privukla pažnju raznih civiliziranih ljudskih bića na postojanje metala.

Gustoća kositra, na primjer, najmanje gustoga od sedam metala poznatih antičkim narodima, iznosi 7.280 kilograma po kubičnome metru, što je 2,5 puta više od gustoće kamena kakav je granit. Među drugim dugo poznatim metalima, željezo ima gustoću 7.860 kilograma po kubičnome metru; bakar 8.920 kilograma po kubičnome metru; i srebro 10.500 kilograma po kubičnome metru.

Gušći od svih njih, a ipak dovoljno čest i jeftin da bi ga poznavali obični ljudi, dugo je poznati metal olovo. Njegova je gustoća 11.300 kilograma po kubičnom metru pa je ono prema tome oko četiri puta gušće od kamena.

Nije stoga iznenađujuće što je olovo postalo poslovičan izraz za »težinu«; tako govorimo o »olovnu raspoloženju« kad smo tužni, o »olovnim nogama« kad smo umorni, o »olovnim kapcima« kad smo pospani i tako dalje.

Kad se gibaju objekti slične veličine, oni gušći imaju veću masu pa stoga i veći moment, više kinetičke energije i veće razorno djelovanje pri sudaru. Zato su se projektili, umjesto kamena, počeli izrađivati od metala s napredovanjem vojne tehnologije, i zato se, osobito meci, izrađuju od olova.

I dalje, kad geodeti žele uspostaviti okomitu liniju, oni konopac opterete komadom materijala veće gustoće, često olova, kako bi se napeo točno u okomicu pod utjecajem gravitacije. Budući da je latinska riječ za olovo *plumbum*, na engleskome se takav visak zove »plumb line«.

Pa ipak, olovo nije bilo najgušći materijal poznat starim narodima. Dva poznata metala imala su veću gustoću, no bili su rijetki i obični ljudi nisu s njima dolazili u kontakt. Oni nisu imali iskustva s neobičnom gustoćom koju su ti metali posjedovali pa je tako olovo ostalo poslovičnim.

Jedan od tih osobito gustih metala je tekućina — živa. To je zapanjujuće, jer većina tekućina nema naročito veliku gustoću. Voda je, sa 1.000 kilograma po kubičnome metru, bila uglavnom najgušća tekućina poznata antičkim narodima (osim žive). Razna biljna i životinjska ulja imaju gustoće

oko 900 kilograma po kubičnom metru, alkohol ima gustoću 790 kilograma po kubičnome metru i tako dalje.

Živa, međutim, ima gustoću 13.600 kilograma po kubičnom metru pa je tako 20 posto gušća od olova. Ako bi netko tko nije upoznat s gustoćom žive naišao na bocu punu tog metala u kemijskom laboratoriju i pokušao je podići snagom što bi dostajala za običnu tekućinu tog volumena, mogli bismo mu oprostiti ako bi na trenutak pomislio da je boca zalijepljena za stol.

No čak ni živa ne drži rekord. Zlato ima gustoću 19.300 kilograma po kubičnome metru pa je tako 70 posto gušće od olova. Budući da je zlato najrjeđi i daleko najljepši metal koji je bio poznat antičkim narodima, za njih nije bilo iznenađenja što je ono predstavljalo ekstrem.

Unatoč činjenici da je zlato mnogo gušće od olova, ljepota zlata prevladala je u svijesti ljudi pa ga nitko u metaforama ne upotrebljava na način što ne bi bio laskav. Čovjek se može vući na nogama poput olova, ali plesat ćemo na zlatnim nogama.

Zašto se krutine i tekućine toliko razlikuju po gustoći? Zašto bi zlato bilo trideset i šest puta gušće od litija? U svih, u litija kao i zlata, atomi su u kontaktu te su razlike u kompaktnosti ustroja zapravo manje važne.

Pojedini se atomi, međutim, razlikuju po masi. Neki u jezgri imaju mnogo protona i neutrona, neki samo nekoliko. Atomi s mnogo takvih nuklearnih čestica imaju veću atomsku težinu i veću masu. Shodno tome, očekivali bismo da je, općenito, neki element gušći što ima veću atomsku težinu.

Litij, na primjer, ima atomsku težinu 7, dok kisik i silicij (glavne komponente stijenja) imaju atomske težine 16 odnosno 28. Željezo, s druge strane, ima atomsku težinu 56, a zlato 197.

Pa ipak, volumen atoma i način kako su stisnuti ima manju ulogu. Primjerice, živa ima atomsku težinu 201 a olovo 207, pa ipak su obje te atomske težine nešto veće od atomske težine zlata, oba ta metala imaju gustoću znatno nižu od zlata. Atom s najvećom atomskom težinom koji se pojavljuje u prirodi u znatnim količinama je uran; pa iako je njegova atomska težina 238, što je 20 posto više od atomske težine zlata, gustoća urana iznosi oko 19.000 kilograma po kubičnome metru, što je nešto malo manje od gustoće zlata.

SUVREMENE GUSTOĆE

Zlato je prvi put privuklo pažnju ljudi vjerojatno oko 4000. godine pr.n.e. i više od pet milenija držalo je rekord kad je riječ o gustoći. Bilo bi oprostivo da se držalo kako taj rekord nikad neće biti oboren.

Zapravo, rekord i nije oboren sve do 1740-ih godina. U tom desetljeću, španjolski učenjak Antonio de Ulloa (1716—95) proučavao je grumenje nekog metala što je pronađen u pijesku rijeke Pinto u Kolumbiji. Budući da je taj metal bio bjelkast, Španjolci koji su se tamo zatekli nazvali su ga *platina del Pinto* (»malo srebro iz Pinta«).

Ispitivanja su brzo pokazala da to nije bilo srebro. Taj je metal bio znatno gušći od srebra, talište mu je bilo znatno više i bio je inertniji (to jest, bio je znatno manje sklon reakcijama s drugim tvarima). Novi metal stoga je dobio vlastito ime. Španjolskome imenu dodat je sufiks »-um« koji se obično upotrebljavao za metale pa je tako postao »platinum«.

Platina je, zbog visokog tališta i inertnosti, bila izvrsna za upotrebu u proizvodnji kemijske opreme i za tu je svrhu bila vrlo tražena. Oko 1800. godine, engleski kemičar William Hyde Wollaston (1766—1828) izumio je metodu za obradu platine (koju je čuvao tajnom gotovo do konca života) kojom se postizala visoka kakvoća posuda od platine. Taj ga je postupak obogatio, a to je značilo da su drugi kemičari proučavali platinu uz sve veću pohlepu.

Drugi jedan engleski kemičar, Smithson Tennant (1761—1815) otkrio je 1803. godine, radeći s platinom, da su s njom pomiješana u malim količinama dva slična metala. Nazvao ih je »iridium« i »osmium« — iridij prema grčkoj riječi za »duga« zbog različitih boja njegovih spojeva, a osmij prema grčkoj riječi za »miris«, jer je njegov spoj s kisikom imao odvratan smrad.

Kasnije se pokazalo da su atomske težine osmija, iridija i platine — 190, 192 i 195, tek nešto manje od atomske težine zlata.

Gustoća im je, međutim, bila nešto viša od gustoće zlata i, kao što se pokazalo, redom obratnim od atomskih težina. Najveće gustoće imaju: platina, 21.450 kilograma po kubičnom metru; iridij, 22.421 kilogram po kubičnom metru; i osmij, 22.480 kilograma po kubičnom metru.

Platina ima gustoću 11 posto veću od zlata, a osmij 5 posto veću od platine. Danas znamo dovoljno o kemijskim supstancijama da bismo bili posve sigurni kako su ta tri metala (i njihove međusobne legure) jedine tvari gušće od zlata, u uvjetima koji prevladavaju na površini Zemlje, i da među njima osmij drži rekord. Nećemo pronaći ništa što bi imalo gustoću veću od osmija.

Krenimo, međutim, u suprotnome smjeru. Već spomenuh litij kao metal s najmanjom gustoćom — 534 kilograma na kubični metar. To je doista kompaktna krutina s najmanjom gustoćom koja postoji u normalnim okolnostima.

Moguće je dobiti i tvari s manjom gustoćom, ako nisu kompaktne. Balzovina ima otprilike samo četvrtinu gustoće litija, no balzino drvo ima tako labavu strukturu vlakana da je velik dio njegova prividnog volumena jednostavno zrak. Njegova je gustoća, međutim, prosjek gustoće stvarnoga drva i zraka što ga sadrži. Slično tome, ukupna gustoća loptice za ping-pong je mnogo manja od gustoće balzovine, jer je gustoća loptice specifični prosjek gustoće tankoga celulojdnog okruglog omotača i unutrašnjeg sadržaja zraka. Mjehurići sapunice imaju još manju gustoću, jer su njihove obloge od tekućine tanje i s manjom gustoćom od celulojda.

Želimo li se ograničiti na tvari koje su kompaktne, prema tome, da bismo pronašli nešto s još manjom gustoćom od litija, moramo se okrenuti materijalima koji su krutine samo pri niskim temperaturama. (O temperaturi ćemo govoriti kasnije u knjizi.)

Element s najnižom atomskom težinom — 1 — je vodik. Vodik prelazi u kruto stanje na temperaturi —260°C, a kruti vodik koji tada postoji ima gustoću 86,6 kilograma po kubičnome metru. To je samo 1/6 gustoće litija. Kruti vodik je kompaktna krutina s najmanjom gustoćom koja može postojati uopće u svim uvjetima, a osmij ima 260 puta veću gustoću od njega.

Tekućine općenito imaju manju gustoću od krutina, a to vrijedi i u slučaju vodika. Tekući vodik, na —253°C, ima gustoću 70 kilograma po kubičnom metru, što je samo 4/5 njegove gustoće u krutom stanju. On je tekućina s najmanjom gustoćom koja može postojati uopće u svim uvjetima.

Tako nam preostaju plinovi.

Dok su kod krutina i tekućina sastavni atomi u kontaktu, kod plinova, atomi (ili molekule) od kojih su sastavljeni to

nisu. Temeljne čestice plinova razdvojene su znatnim volumenima ničega (vakuuma). Plinovi prema tome nisu kompaktni, i njihova je gustoća manja od gustoće tekućina ili krutina iz istog razloga s kojeg je gustoća mjehura sapunice niska — zato što nije riječ o supstanciji u masi, već o supstanciji u mediju niže gustoće.

Ipak, moguće je definirati određene standardne uvjete pritiska i temperature i izmjeriti gustoću u tim uvjetima. To će nam dati standardne gustoće s kojima možemo raditi.

Atomi ili molekule koji sačinjavaju plinove raspoređeni su jednoliko (manje ili više) u zadanim uvjetima. Shodno tome, gustoća je proporcionalna masi pojedinačnih atoma ili molekula koji sačinjavaju plinove.

Od supstancija koje su plinovi u standardnim uvjetima, najveću masu čestica ima radon. To je radioaktivna tvar koja se dosta brzo raspada tako da postoji samo u tragovima. Ako bi se mogle skupiti znatnije količine radona te izmjeriti njegova gustoća, proizašlo bi da je ta gustoća 10,2 kilograma po kubičnom metru.

No razmotrimo sad uranov heksafluorid koji je krutina u normalnim uvjetima. Nije, međutim, potrebno mnogo topline da bi se on pretvorio u plinovitu paru. Pojedinačna čestica takva plina su molekule uranova heksafluorida, od kojih svaka sadrži jedan atom urana i šest atoma fluora. Molekularna težina je 352, a gustoća takvog plina oko 16 kilograma na kubični metar.

Pare uranova heksafluorida vjerojatno su najgušći plin što ga možemo očekivati u uvjetima koji se približavaju standardu ovdje na Zemlji, pa ipak njegova gustoća iznosi manje od četvrtine gustoće tekućega vodika, najmanje guste od svih supstancija koje su tekuće ili krute.

Zrak je sastavljen od mješavine kisika i dušika. Gustoća kisika u standardnim uvjetima iznosi 1,43 kilograma na kubični metar, a dušika 1,25 kilograma na kubični metar. Budući da se zrak sastoji od 4/5 dušika i 1/5 kisika, gustoća zraka u standardnim uvjetima je 1,29 kilograma na kubični metar.

Ma kako ta gustoća bila niska, i ma koliko bili naviknuti na to da razmišljamo o zraku kao o nečemu što možemo zanemariti, tu je ipak riječ o znatnim masama. Američka dnevna soba srednje veličine (360 puta 550 centimetara, sa stropom visokim 240 centimetara) ima volumen 49 kubičnih metara. Zrak u takvoj jednoj dnevnoj sobi ima masu 63,4

kilograma, a to je prosječna težina odraslog Amerikanca. (Ako bi ta dnevna soba bila ispunjena parom uranova heksafluorida, ta bi para imala masu 790 kilograma.)

Postoji nekoliko plinova s gustoćom manjom od zraka. Amonijak ima gustoću, u standardnim uvjetima, 0,77 kilograma po kubičnom metru, metan 0,72 kilograma po kubičnom metru, helij 0,18 kilograma po kubičnome metru i vodik 0,09 kilograma po kubičnom metru.

Plinoviti vodik, prema tome, ima gustoću nešto ispog 1/4 gustoće zraka i 249.866,6 puta manju od osmija.

Dosad smo međutim govorili o supstancijama ovdje na površini Zemlje. Svoje vidike možemo proširiti i dalje od toga. Čineći to, naići ćemo postupno na gustoće i veće i manje od svega na Zemljinoj površini.

PRITISCI NA ZEMLJI

Pod utjecajem gravitacijskog polja, sve biva vučeno u smjeru koji djeluje »nadolje«, a to stvara osjećaj težine. Ta je težina raspoređena na određenoj površini, a količina težine na jedinici površine je »pritisak«.

Mi živimo na dnu jednog oceana zraka — atmosfere — koji vuče nadolje Zemljino gravitacijsko polje. Njegova nas težina pritišće iz svih smjerova, izlažući nas »pritisku zraka«. U normalnim okolnostima mi nismo svjesni tog pritiska zraka, zato što tekućine u našim tkivima pritišću prema van tlakom koji je jednak pritisku zraka, neutralizirajući to djelovanje. Ljudska su bića stoga tijekom najvećeg dijela povijesti bila nesvjesna i samog postojanja te pojave.

Ipak, u raznim je prilikama u prošlosti zapaženo da se voda, bez obzira na to kako je dobro sagrađena crpka i bez obzira na to kako ustrajno ljudi pokretali njezinu ručicu, nije mogla podići više do samo neznatno iznad 10 metara iznad normalne razine.

Različite su sugestije iznijete da bi se to objasnilo, a 1643. godine problemom se pozabavio talijanski fizičar Evangelista Torricelli (1608—47). Pretpostavimo, pomislio je on, da zrak, iako djeluje kao da nije gotovo ništa, zapravo ima težinu, kao što je imaju i druge stvari. Ako je tako, on bi stvarao pritisak, i taj bi pritisak zraka potiskivao vodu iznad njezine prirodne razine. Možda je bilo samo toliko zra-

ka, pa prema tome i toliko pritiska zraka, da ukupan pritisak zraka bude dostatan za držanje u ravnoteži stupca vode nešto višeg od 10 metara.

Torricelli je, da bi provjerio svoju misao, upotrijebio živu, gustoća koje je gotovo 13,5 puta veća od gustoće vode. Ako pritisak zraka može držati u ravnoteži stupac vode malo viši od 10 metara, on bi također morao dostajati za držanje u ravnoteži stupca žive visokog oko 3/4 metra. Taj stupac žive bio bi težak koliko i mnogo viši stupac vode koja ima mnogo manju gustoću.

Torricelli je uzeo staklenu cijev dugačku 1,3 metra i zatvorenu na jednome kraju. Napunio ju je živom, začepio, prevrnuo je u veliku posudu sa živom i otčepio. Živa je počela istjecati iz cijevi kao što se moglo očekivati, ali nije to učinila posve. U cijevi je ostao stupac koji je pritiskao živu u posudi.

Prema tome, pritisak atmosfere bio je jednak pritisku stupca žive visokog 0,76 metara.

Stupac žive koji u presjeku ima jedan četvorni metar i koji je visok 0,76 metara bio je težak 10.332 kilograma, nešto što je lako izračunati. To znači da bi težina ukupne količine zraka iznad 1 četvornog metra Zemljine površine na morskoj razini također iznosila 10.332 kilograma.

Možemo stoga reći da pritisak zraka iznosi 10.332 kilograma na četvorni metar, odnosno da je 10.332 kilograma na četvorni metar »1 atmosfera«.

Ovdje govorimo, ne zaboravite, o kilogramu težine, što nije kilogram koji se upotrebljava u metričkom sustavu, gdje je on jedinica mase. Težina je sila — sila kojom nešto pritišće o nešto drugo pod utjecajem gravitacijskog polja.

Osnovno svojstvo sile je njezina sposobnost da ubrzava masu.

Recimo da započnemo s jednim kilogramom mase u mirovanju u vakuumu. Zamislite silu sposobnu da stavi u gibanje taj kilogram i da ga, ako se i dalje primjenjuje, sve više i više ubrzava. Sila bi mogla djelovati tako da se kilogram giba brzinom od 1 metra u sekundi na kraju jedne sekunde, 2 metra u sekundi na kraju druge sekunde, 3 metra u sekundi na kraju treće sekunde i tako dalje.

U tom se slučaju kaže da je veličina te sile 1 kilogram-metar na sekundu u sekundi. Da bi se izbjegla neprekidna upotreba tog dugačkog izraza, znanstvenici silu od 1 kilo-

gram-metra na sekundu u sekundi definiraju kao »1 newton«, u čast Isaacu Newtonu koji je prvi razradio tu vezu između silâ i ubrzanjâ.

Jedan kilogram težine iznosi, u sili, oko 9,806 newtona. Prema tome, pritisak zraka na razini mora iznosi 101.320 newtona na četvorne metre.

Znanstvenici su 1 newton na četvorni metar definirali kao »1 pascal«, u čast francuskom fizičaru Blaiseu Pascalu (1623—62) koji je obavljao značajne eksperimente u vezi s pritiskom zraka poslije fundamentalnog Torricellijeva otkrića. Dakle, pritisak zraka na morskoj razini, ili 1 atmosfera, iznosi 101.320 pascala.

Pritisak zraka nije najveći pritisak što ga mogu doživjeti ljudska bića. Stupac vode visok 10,332 metra stvara pritisak od 1 atmosfere. Ako, dakle, netko zaroni u jezero do dubine od 10,332 metra, pritisak na njegovo tijelo bit će ukupno 2 atmosfere.

Tijelo to može podnijeti zato što se unutrašnji pritisak tekućina u tkivu povećava da bi se izjednačio s dodatnim vanjskim pritiskom. To se, u teoriji, može nastavljati beskonačno kako se roni sve dublje i dublje, no nastaju posljedice (o čemu smo već govorili) koje ograničavaju taj proces.

Najveća dubina oceana, Marijanski jarak, ima nešto više od 11 kilometara. Oceanska je voda slana pa, prema tome, i gušća od slatke vode, pa će tako stupac određene visine osjetiti jače gravitacijsko privlačenje i stvarat će veći pritisak od sličnog stupca slatke vode. Tome valja dodati činjenicu da se voda s dubinom ponešto komprimira te joj gustoća nešto malo raste. Uzme li se sve to u obzir, pritisak u najdubljem dijelu oceana iznosi oko 1.070 atmosfera ili 108,000.000 paskala.

Protiv takvih pritisaka ljudska se bića moraju zaštititi jakim metalnim zidovima batiskafa, kad prodiru do samoga dna oceana.

Ali, pritisak na samome dnu oceana nije najveći koji postoji na planetu Zemlji.

Kruta tvar koja sačinjava Zemljinu loptu gušća je od vode i prostire se dublje, pa ako bismo zamislili da poniremo sve dublje i dublje u Zemlju, brzo bismo naišli na pritiske veće nego bilo gdje u oceanu.

Tisuću kilometara ispod Zemljine površine, težina gornjih slojeva stijenja stvara pritisak veći od 40,000.000.000

paskala, ili oko 400.000 atmosfera, što je 400 puta više od najvećega pritiska u oceanu.

Pritisak dalje raste kako prodiremo dublje u Zemlju. Građu Zemlje čini stijenje raznih vrsta do dubine od 2.900 kilometara, a tada stijenje ustupa mjesto rastaljenom metalu. (Znanstvenici to naslućuju prema ponašanju potresnih valova koji se prenose tijelom Zemlje.)

Izračunato je da u samom središtu Zemlje pritisak iznosi 364,000.000.000 paskala, ili oko 3,600.000 atmosfera.

Pod kompresijom koju stvaraju takvi pritisci, gustoće tvari postaju značajno veće nego što bi bile na razini mora, gdje na njih djeluje pritisak od samo 1 atmosfere. Ogromni pritisci duboko u Zemlji sabijaju i same atome, prisiljavajući elektronske ljuske u vanjskim područjima da se približe jezgri, nasuprot snažnim elektromagnetskim silama koje ih nastoje držati raspršenima.

Stijene s gustoćom od 3.000 kilograma po kubičnom metru na površini imaju gustoću gotovo 6.000 kilograma po kubičnom metru na dubini od 2.900 kilometara, gdje počinje područje rastaljenih metala.

Smatra se da je taj metal uglavnom željezo, sa 10 posto primjese srodnog metala nikla. Na morskoj razini, takva smjesa imala bi gustoću 8.000 kilograma po kubičnom metru. No, na dubini od 2.900 kilometara, pod pritiskom gornjih slojeva stijenja, metal ima gustoću oko 9.700 kilograma po kubičnom metru. Ta se vrijednost dalje povećava na većim dubinama da bi, u samom središtu Zemlje, gdje je pritisak najveći, gustoća metalne jezgre bila, kako se smatra, oko 13.000 kilograma po kubičnom metru.

No čak i u središtu Zemlje, gustoća tamo prisutnog materijala upola je manja od gustoće grudice čistog osmija na površini Zemlje. Obični osmij zadržava rekord gustoće na Zemlji u svim njezinim dijelovima, a ne samo na površini. (Naravno, kad bi u središtu Zemlje u masi bila prisutna velika količina osmija — što nije — njegova gustoća mogla bi doseći čak 35.000 kilograma po kubičnom metru, pod pritiskom koji tamo vlada.)

Nije vjerojatno da će ljudska bića, osobno, prodrijeti u dubine Zemlje u predvidivoj budućnosti i iskusiti te ogromne pritiske i njihovo djelovanje. No, bi li se veliki pritisci možda mogli uvesti u laboratorije?

Francuski fizičar Emile Hilaire Amagat (1841—1915) bio je u tom smislu pionir. Primjenjujući mehanički pritisak na mali volumen i izumivši osobito efikasno zaptivanje, on je uspio postići pritiske od čak 3.000 atmosfera 1880-ih godina. Na toj se točki morao zaustaviti, jer bi čak i najbolje zaptivanje što ga je mogao izraditi na kraju popustilo — no to je bilo itekako značajno dostignuće. Amagat je postigao pritiske tri puta veće nego u najdubljim dijelovima oceanskog bezdana.

Američki fizičar Percy William Bridgman (1882—1961) radio je 1905. na svom doktoratu na Harvardu i proučavao ponašanje nekih optičkih pojava pod utjecajem pritiska. Počeo ga je zaokupljati problem postizanja sve viših i viših razina pritiska pa je izradio vrlo kvalitetne zaptive koji su zadržavali tekućinu u sve ekstremnijim uvjetima.

Brzo je postigao pritisak od 12.000 atmosfera i potom je, svaki put u usavršenijim napravama, krenuo do 20.000, zatim 30.000, zatim 50.000, zatim 100.000 i potom, konačno, prigodice do 425.000 atmosfera, što je gotovo 1/8 pritiska u središtu Zemlje.

Posljednjih je godina Peter M. Bell s Carnegie Institutiona upotrijebio napravu koja gnječi materijal između dva dijamanta (najtvrđe poznate supstancije) i na taj je način uspio postići pritiske od 1,500.000 atmosfera, više od 2/5 pritiska u središtu Zemlje.

Čak su i Bellovi rezultati nadmašeni, barem privremeno, na Kalifornijskom tehnološkom institutu, gdje su projektili ispaljivani iz topa pri velikim brzinama. Na udarnoj točki moguće je postići trenutačne pritiske od nekoliko milijuna atmosfera — što se približava pritisku u središtu Zemlje.

Znanstvenici na taj način mogu proučavati promjene koje nastaju pod visokim pritiskom u metalima i mineralima što sačinjavaju glavni dio Zemlje, pa tako mogu bolje upoznati strukturu unutrašnjosti Zemlje — i drugih planeta.

PRITISCI ONKRAJ ZEMLJE

Ako i nadmašimo pritisak u središtu Zemlje, postavljajući tako planetarni rekord, to nipošto nije rekord za Sunčev sustav. Postoje četiri planeta s masom većom od Zemljine, i svaki od njih mora nužno imati veći središnji pritisak

od Zemlje, jer u svakom tom slučaju intenzivnije gravitacijsko polje sabija veću masu materijala.

Najmasivniji je planet Jupiter; prema nekim procjenama, njegov središnji pritisak iznosi čak 100,000.000 atmosfera, ili trideset puta više nego u središtu Zemlje.

Uz pritiske kakvi postoje u Jupiterovu središtu, sami atomi izloženi su opterećenju koje ugrožava njihovu sposobnost odolijevanja gravitacijskoj kompresiji. Nakon što je Rutherford 1911. razvio koncepciju atoma s jezgrom, postalo je jasno da se atomi, pod dovoljnim pritiskom, mogu raspasti.

Kod normalnih pritisaka, gotovo sva masa atoma koncentrirana je u sićušnoj atomskoj jezgri u središtu. Te jezgre su okružene razmjerno velikim volumenima ispunjenima elektronima. U tim uvjetima, jezgre se ne mogu približiti jedna drugoj; na putu im stoje elektroni.

No kod dovoljno visokih pritisaka, elektronska struktura na rubovima atoma se raspada te ostaju izložene gole jezgre. Sad se jezgre mogu približiti jedna drugoj, sudarati i međusobno djelovati. Ako se većina materijala nekog masivnog tijela sastoji od vodika, jezgre čini po jedan proton, a oni su podložni »fuziji« u međusobnu djelovanju, pri čemu stvaraju jezgre helija uz oslobađanje znatnih količina topline. Kao rezultat takve fuzije u središtu nekog masivnog tijela (takvoga koje ima masu znatno veću od Jupitera), stvara se toliko topline da čitavo tijelo zrači svjetlost. Ukratko, stvorena je zvijezda.

Iz tog razloga Sunce blista svojom užarenom svjetlošću.

Sunce ima masu 1.020 puta veću od Jupitera pa se procjenjuje da pritisak u njegovu središtu iznosi čak 330,000.000.000 atmosfera, što je 3.300 puta više nego u središtu Jupitera. Taj je pritisak svakako dovoljan za raspadanje atomske strukture u Sunčevoj jezgri i nastajanje nuklearne fuzije.

Kad se jedanput atomska struktura raspadne da bi nastalo nešto što se ponekad naziva »degeneriranom tvari«, masivne jezgre, približavajući se jedna drugoj više no što ikad mogu kad su atomi netaknuti, stvaraju supstanciju s gustoćom daleko većom od normalne. Gustoća u Sunčevu središtu, primjerice, procjenjuje se na oko 160.000 kilograma po kubičnom metru, ili sedam puta više od gustoće osmija.

Materijal u središtu Sunca sastoji se većinom od helija, jezgre kojega imaju atomsku težinu 4 u usporedbi s osmije-

vih 190. Da bi lagane jezgre helija proizvele tvar koja ima gustoću sedam puta veću od osmija, te helijeve jezgre u središtu Sunca moraju biti potisnute do međusobnog razmaka koji iznosi samo oko 1/7 udaljenosti jezgara osmija na površini Zemlje.

Budući da je razmak između jezgara u običnih netaknutih atoma oko 200.000 puta veći od promjera jezgre, ako se ta udaljenost smanji na 1/7 to još uvijek ostavlja razmak među jezgrama koji je u prosjeku gotovo 30.000 puta veći od njihova promjera. To bi, u razmjeru, bilo slično ping-pong lopticama raspršenima s prosječnim međusobnim udaljenostima nešto većim od jednoga kilometra. Uz takav međusobni razmak, ping-pong loptice mogle bi se nesmetano gibati, bez ikakva dojma naguranosti.

Prema tome, unatoč ogromnoj gustoći u Sunčevu središtu, materijal koji tamo postoji ponaša se poput plina.

Ali, Sunce ne drži rekord u tom smislu. Neke zvijezde imaju masu veću od Sunca, čak i do pedeset puta veću. Može se očekivati da sve one imaju središnje pritiske i gustoće veće od Sunčevih.

Međutim, ni one nipošto ne nose rekord.

Ono što sprečava kolaps zvijezda pod utjecajem njihovih silno intenzivnih gravitacijskih polja — to su jednako toliko ogromne središnje temperature koje nastaju nuklearnom fuzijom. No, jezgre koje su obuhvaćene fuzijom jednoga će se dana potrošiti i ostat će samo velike jezgre — proizvod te fuzije. Na kraju, poslije blistanja, između milijuna i stotina milijardi godina, zvijezda više ne može razvijati dovoljno topline da bi ostala u ekspandiranu stanju — i tada nastaje njezin kolaps.

U slučaju tih kolabiranih zvijezda, praktički sav materijal sastoji se od degenerirane tvari, umjesto samo od materijala jezgre, kao u slučaju Sunca. Pritisci i gustoće postaju mnogo veći.

Prva otkrivena zvijezda koja je već doživjela kolaps bila je pratilja Siriusa. Otkrio ju je 1844. godine Bessel (koji je prije, o čemu smo već govorili, prvi odredio udaljenost neke zvijezde). On je zamijetio da se Sirius giba valovitom stazom, kao da ga privlači nešto s gravitacijskim intenzitetom zvijezde. Bessel nije mogao vidjeti nikakvu zvijezdu tamo gdje bi morala biti pa je zaključio da je Siriusova pratilja mrtva zvijezda, takva koja je prestala sjajiti.

Tu je pratilju konačno ugledao 1862. godine američki astronom Alvan Graham Clark (1832—97). Svijetlila je slabašno i činilo se da je, ako ne mrtva, a ono umiruća zvijezda. Na osnovi njezina kretanja, i kretanja Siriusa, moglo se saznati da ta pratilja (»Sirius B«) ima masu 1,05 puta veću od našeg Sunca.

Tada je, 1915, američki astronom Walter Sydney Adams (1876—1956) uspio snimiti spektar Siriusa B. Na temelju tog spektra moglo se pokazati da je temperatura Siriusa B jednako visoka kao i temperatura samog Siriusa. Njegova je površina bila toplija od Sunčeve.

No u tom slučaju, zašto je on djelovao tako blijedo na nebu? Ako je bio vruć kao i sam Sirius, i gotovo s jednakom masom, zašto izgledom nije bio jednako blistav kao i Sirius?

Jedini je mogući odgovor bio da je on u promjeru mnogo manji od Siriusa. Njegova je površina mogla biti vruća i blistava, ali te je površine bilo vrlo malo. Zapravo, prema današnjim mjerenjima činilo bi se da je promjer Siriusa B samo oko 11.000 kilometara. Sirius B je prema tome manji od Zemlje, a ipak je to zvijezda u fazi bijelog žara. Ako se njegova blistavost poveže s njegovom malom veličinom, nije čudno što se naziva »bijelim patuljkom«.

No unatoč malome opsegu, njegova je masa 1,05 puta veća od Sunčeve. Očito, bila je to nekad obična velika zvijezda kojoj je ponestalo goriva pa nije mogla ostati u ekspandiranu stanju nasuprot sili vlastite gravitacije. Postoji znatan broj bijelih patuljaka, a sve su to kolabirani ostaci zvijezda.

Ako zamislite neki objekt s masom 1,05 puta većom od Sunca koji je sabijen u kuglu manju od Zemlje, možete pojmiti da ukupna gustoća Siriusa B mora biti ogromna. Njegova prosječna gustoća zapravo iznosi 2,900.000 kilograma po kubičnom metru, a procjenjuje se da je u njegovu središtu gustoća čak 33,000.000.000 kilograma po kubičnom metru. Takva je gustoća približno 1,000.000 puta veća od gustoće osmija.

Čak i u slučaju tako ogromne gustoće, jezgre u središtu bijelog patuljka razdvojene su jedna od druge razmakom koji odgovara ping-pong lopticama u prosjeku međusobno udaljenima 15 metara. Taj će se materijal *i dalje* ponašati kao da je plin.

Što neka zvijezda prvobitno ima veću masu, toliko je intenzivnije gravitacijsko polje i katastrofalniji konačni kolaps. Ako je masa zvijezde dovoljno velika, kolaps se može nastaviti do točke gdje se jezgre približavaju jedna drugoj i dolaze u kontakt.

Takve su zvijezde »neutronske zvijezde«, a prvi put ih je otkrio 1967. godine mladi britanski student Jocelyn Bell koji je radio za astronoma Anthonyja Hewisha (1924—).

Neutronska zvijezda s masom Sunca imala bi promjer ne veći od 14 kilometara. Njezina bi gustoća bila gustoća same atomske jezgre — zapravo, neutronsku bismo zvijezdu gotovo mogli smatrati divovskom atomskom jezgrom.

Gustoća neke neutronske zvijezde bila bi oko 10^{18} kilograma po kubičnom metru, ili najmanje 100,000.000 puta veća nego u središtu bijelog patuljka i 50 bilijuna puta veća od gustoće osmija. Materijal u neutronskoj zvijezdi ne bi djelovao poput plina već bi se, unatoč ogromnim temperaturama, ponašao kao krutina.

Pa ipak, čak ni neutronska zvijezda nije ono krajnje. Ako je zvijezda dovoljno masivna i ako je njezin kolaps dovoljno silovit, ona se može probiti i kroz nuklearnu barijeru. Čak ni supstancija atomske jezgre ne bi bila u stanju izdržati gravitacijsku kompresiju. Same bi se nuklearne čestice raspale te ne bi ništa preostalo što bi moglo spriječiti beskrajno nastavljanje procesa kolapsa.

Rezultat je crna rupa, u kojoj jednostavno traje i traje kolaps tvari, a pritisci i gustoće i gravitacijski intenziteti rastu, bez granice, prema beskrajnome.

PREMA VAKUUMU

No, možemo krenuti i u drugom smjeru.

Supstancija s najmanjom gustoćom na razini mora je plin vodik — ona iznosi 0,09 kilograma po kubičnom metru. To je jednako kao i kad bismo rekli da jedan kubični metar vodika sadrži $2{,}7 \times 10^{25}$ (27 bilijuna bilijuna) molekula vodika sveukupno.

To manje ili više vrijedi za svaki plin na morskoj razini. Tako zrak na morskoj razini sadrži također 27 bilijuna bilijuna molekula. Zrak je, naravno, složena smjesa mnogih plinova. Devedeset i devet od svakih sto molekula ili su mole-

kule kisika ili molekule dušika, no preostala jedna na svakih sto dovoljna je da bi pridonijela velik broj atoma čak i najrjeđih tvari. Na primjer, samo 6×10^{-29} (manje od jedne kvadrilijuntine) čestica atmosfere čine atomi rijetkoga plina radona. Pa ipak, to znači da kubični metar zraka na morskoj razini sadrži 16,000.000 atoma radona.

Iako postoji tako mnogo molekula zraka u jednom kubičnom metru, pojedinačne su molekule tako male da je prosječna udaljenost među njima oko 100 puta veća od promjera pojedine molekule. (To je kao da imamo ping-pong loptice raspoređene na prosječnom razmaku od 1,5 metara.)

Razdvojene molekule u plinovima nisu povezane snažnim kemijskim vezama kakve nalazimo u krutinama. Njih praktički ne povezuju nikakve unutrašnje sile — samo pritisak plinova koji su iznad, plinova koje privlači nadolje Zemljina gravitacija. Ako bi se pritisak zraka nekako smanjio, molekule zraka bi se razmaknule i gustoća bi im postala manja. Ako bi pritisak zraka bio dovoljno smanjen, molekule zraka (ili, uostalom, svakog plina) širile bi se beskonačno i nestale gotovo do nepostojanja.

Jedan način smanjivanja pritiska zraka jest ako zamislimo da je oslabio intenzitet gravitacije. Ako je on dovoljno oslabio, ne bi mogao stvarati dostatan pritisak koji bi spriječio beskrajno širenje atmosfere i razilaženje po međuplanetarnom prostoru. Upravo zato svjetovi kakvi su Mjesec i Merkur nemaju atmosfere, niti je može imati išta manje od Mjeseca.

Drugi način smanjivanja pritiska zraka jest ako zamislimo da se uzdižemo kroz atmosferu do sve većih i većih visina. U tom slučaju, sve više i više atmosfere ostavljamo ispod sebe i zračni pritisak koji bismo osjećali ovisio bi samo o onom dijelu atmosfere što je još iznad nas. To znači da pritisak zraka mora postupno opadati kako se uspinjemo.

To je prvi pokazao 1646. godine Pascal (po kojemu je nazvan »pascal«). On je poslao svoga šurjaka, opremljena sa dva barometra, da se uspne uz obronke obližnje planine. Šurjak se uspeo do visine od jedne milje i pri tome otkrio da je stupac žive postupno opadao od početnih 0,76 metara do 0,68 metara.

Kad bi atmosfera imala jednaku gustoću na svim visinama, ona bi tada završila na 5 kilometara visine, zato što je potreban stupac zraka od samo 5 kilometara — ako sav ima

gustoću kao na razini mora — da bi se stvorio pritisak zraka koji doista zapažamo na morskoj razini. Međutim, što se više uspinjemo, to je pritisak zraka niži i molekule zraka raspršenije. Atmosfera ima sve manju i manju gustoću, zauzimajući tako sve više i više prostora, pa se proteže mnogo više od 5 kilometara, doduše po cijenu postupno sve veće razrijeđenosti.

Na vrhu Mt. Everesta (visina 8,84 kilometra), pritisak zraka prema onome na morskoj razini ima odnos 0,31 — ili oko 31.400 pascala. (To silno povećava teškoće uspona onu posljednju milju kad se osvajaju visoki vrhovi.)

Znanstvenici upotrebljavaju balone i rakete da bi odredili svojstva atmosfere na visinama mnogo većima od ijedne planine. Na visini od 10 kilometara, pritisak zraka pada na 28.000 pascala; na visini od 50 kilometara na samo jednu tisućinku pritiska na morskoj razini, ili 101 pascal; na 100 kilometara iznosi 0,08 pascala, a na 220 kilometara 0,00002 pascala.

Ukoliko je riječ o praktičnoj uporabi atmosfere, mogli bismo smatrati da, kad dosegnemo visinu od 50 kilometara, oni pramičci zraka što preostadoše nisu praktički ništa te ih možemo držati vakuumom.

Pa ipak, čak i na 220 kilometara, gdje slabašni pramičci zraka imaju manje od petmilijarditog dijela gustoće zraka na morskoj razini, u jednome kubičnom metru nalazi se još 5×10^{15}, ili 5 trilijuna atoma ili molekula. To je dovoljno da omete u značajnom opsegu let umjetnih satelita i da im, preko otpora koji stvaraju, na koncu oduzme toliko energije da padaju na tlo — kao u slučaju onog zlosretnog *Skylaba.*

Kako se sve više i više udaljavamo od Zemlje, gustoća plina nastavlja se smanjivati, ali nikad ne doseže nulu! Sunce neprestano emitira velike količine subatomskih čestica, a one se raspršuju velikim brzinama u svim smjerovima (»solarni vjetar«), pa tako područja svemira koja okružuju sustav Zemlja-Mjesec sadrže 5,000.000 do 80,000.000 čestica u kubičnom metru (uglavnom protona — jezgri vodikovih atoma).

Brojčano to još uvijek zvuči mnogo, no to je manje od jedne milijuntine bilijuntine gustoće zraka na morskoj razini.

A kako je s međuzvjezdanim prostorom, sa svemirom između zvijezda? Tamo razdioba tvari nije jednolika. Postoje, na primjer, oblaci prašine koji mogu ispunjavati 1/25 ukupnog volumena svemira u spiralnim krakovima galaksije, a

oni se sastoje uglavnom od protona ako su unutar njih ili blizu njih vruće zvijezde, ili od čitavih vodikovih atoma ako u blizini nema zvijezda koje bi davale energiju što bi ih poremetila.

Ukupan sadržaj čestica u takvim oblacima može biti do 100,000.000 u kubičnom metru; poslije 1960-tih godina, radio-valovi koje emitiraju pokazali su također prisutnost manjih brojeva molekula, uključujući i neke složene spojeve ugljika.

U područjima između tih oblaka, gdje je gustoća na minimumu, možda se nalazi samo 100.000 atoma vodika u kubičnom metru. No čak i tamo svoj prilog daju razni »zvjezdani vjetrovi«. U međugalaktičkom prostoru, daleko od svih zvijezda, u kubičnom se metru nalazi možda tek 0,1 vodikov atom.

Pa ipak, ako bi se uzeo neki volumen najpraznijeg intergalaktičkog prostora, volumen velik poput planeta Zemlje, on bi sadržavao ukupno 10^{19} (10 milijuna bilijuna) vodikovih atoma. Svemir *nikad* nije potpuno prazan.

Ljudska bića su također naučila stvarati vakuume ovdje na Zemlji. Prvi značajniji vakuum napravio je Torricelli, kad je preokrenuo svoj stupac žive i dopustio da jedan dio isteče. Prostor koji je živa ispraznila na zatvorenu vrhu cijevi nije sadržavao ništa drugo do tragova živine pare, a to je »Torricellijev vakuum«.

Zbog živinih para to nije savršeni vakuum i, pri običnim temperaturama, jedan kubični metar Torricellijeva vakuuma sadržavao bi $3,5 \times 10^{19}$ atoma žive.

Poslije Torricellijeva doba razvijeni su mnogi načini odvođenja zraka iz zatvorenih spremnika te su stvoreni vakuumi koji sadrže manje od desetbilijuntine broja čestica u Torricellijevu vakuumu.

Jedan kubični metar čak i najboljeg vakuuma što ga je napravio čovjek sadrži, međutim, ipak oko 3,000.000 atoma ili molekula. To je jednako kao i u međuplanetarnom prostoru, ali je daleko od najpraznijeg međuzvjezdanog prostora (a da i ne spominjemo najprazniji međugalaktički prostor).

IV dio
Horizonti energije

21

Visoke temperature

TALIŠTA I VRELIŠTA

Kao što je gustoća mjera koncentracije mase u zadanom volumenu, ako je temperatura mjera količine energije u zadanom volumenu. Temperatura, mjera intenziteta topline, snažno utječe na zbivanja i nešto je čega smo svi neprekidno svjesni.

Čovjekovo poznavanje temperature postoji kao biološka osjetljivost. Objekti su hladni ili topli na dodir, ovisno o tome prelazi li toplina tijela na objekt, ili iz objekta na tijelo. U prvom slučaju, tempertura tijela se smanjuje na točki dodira; u drugom slučaju, ona se povećava. U oba slučaja, mozak na odgovarajući način interpretira to događanje.

Toplina ili hladnoća mogu se osjetiti i na udaljenost, kao kad stojimo ispred razbuktale vatre ili ispred ledenog brijega. U prvom slučaju, toplinu od vatre do tijela prenose zračne struje i zračenje, dok se u drugom slučaju toplina prenosi od tijela do leda.

Pokušaji da se temperatura mjeri objektivno datiraju iz 1593. godine, kad je Galileo izumio prvi »termometar« (prema grčkim riječima za »toplinska mjera«). Do tada se već shvatilo da su predmeti skloni širenju kod povećanja temperature te da bi se veličina tog širenja mogla iskoristiti za mjerenje temperature.

Galileo je zagrijavao šuplju kuglu na koju je bila pričvršćena dugačka šuplja cijev, otvorena tako da može ulaziti

zrak. Kuglu je obrnuo, a cijev uronio u vodu. Kugla se hladila, a pri tome se zrak u njoj stezao i u cijev je ulazila voda. Poslije toga, kako je temperatura rasla i zrak se u kugli širio, razina vode se smanjila; kad se temperatura spustila, razina vode se povećavala. Bila je to nesavršena naprava, jer je pritisak zraka izvana, kako se mijenjao, također podizao i spuštao razinu vode, no to bijaše početak.

Godine 1654, veliki vojvoda Ferdinand II Toskanski (1610—70) prvi je upotrijebio kuglu na koju je bila pričvršćena zabrtvljena cijev. Kugla je bila napunjena alkoholom i njegovo je dizanje i spuštanje u cijevi ovisilo samo o temperaturi, bez utjecaja pritiska zraka.

Prvi čovjek koji je konstruirao dovoljno točan termometar da bi se mogao koristiti u znanstvenim eksperimentima, bio je njemačko-nizozemski fizičar Gabriel Daniel Fahrenheit (1686—1736). On je 1714. upotrijebio čistu živu da bi napunio kuglu termometra, hermetički je zatvorivši u vakuum.

On je ucrtao skalu prema kojoj se mjerila temperatura. Stavio je termometar u mješavinu vode, leda i soli i razinu žive označio kao 0°. Tjelesnu temperaturu osobe dobra zdravlja, izmjerenu stavljanjem kuglice termometra u usta, odredio je na 96°. Prema toj skali, proizašlo je da je ledište vode na 32°, a vrelište vode na 212°. (Danas se uzima da je, prema toj skali, normalna tjelesna temperatura 98,6°.)

To je »Fahrenheitova skala«, a temperature izražene njome označavaju se kao 32°F, ili 98,6°F. Upotrebljava se u Sjedinjenim Državama, ali gotovo nigdje drugdje. Čak se i u Sjedinjenim Državama danas počinje gubiti.

Švedski astronom Anders Celsius (1701—44) uveo je 1743. skalu na kojoj je ledište vode bilo na 0°, a vrelište vode na 100°. Ona je prvobitno nazvana »centigradnom skalom«, prema latinskim riječima u značenju »sto stupnjeva«. No, 1948. godine službeno je nazvana »Celzijevom skalom«, u počast izumitelju. U oba slučaja, kažemo 0°C i 100°C. Celzijeva skala upotrebljava se širom svijeta, sve više čak i u Sjedinjenim Državama, a upotrebljava se i u ovoj knjizi.

Tek nakon što su na raspolaganju bili točni termometri, moglo se postaviti pitanje na kako se visoke temperature može naići.

Normalna temperatura naše uobičajene okolice raste i pada s obzirom na dan i noć te godišnja doba. Ta je tempe-

ratura ponekad viša od normalne tjelesne temperature od 37°C. U New York Cityju, na primjer, najviša temperatura zabilježena u povijesti Meteorološkog zavoda (koji datira tek od 1890-ih godina) iznosila je 41,7°C, a izmjerena je u srpnju 1966.

Najviša temperatura u Sjedinjenim Državama zabilježena je 10. srpnja 1943. godine u Death Valleyju u Kaliforniji. Iznosila je 56,5°C, točno oko 20 stupnjeva više od normalne tjelesne temperature. No čak ni to nije svjetski rekord, jer se 13. rujna 1922. temperatura u Al 'Azizijahu u Libiji popela na 58°C.

No, na površini Zemlje ili blizu nje postoje temperature koje su mnogo više od općenite atmosferske temperature oko nas. Munje stvaraju silno visoke temperature vrlo lokalizirane i privremene vrste. Vulkanske erupcije ne stvaraju ni približno tako visoke temperature, ali one se održavaju kroz duga vremenska razdoblja. U oba slučaja može doći do šumskih požara.

Šumski požari postoje otkad postoje i šume, tako da je vatra mnogo starija od čovječanstva. Hominidi su, međutim, bili prvi organizmi koji su promišljeno upotrebljavali vatru — koji su činili nešto drugo osim bježanja od nje. Još prije 500.000 godina, čini se da je *Homo erectus*, predak suvremena čovječanstva relativno malog mozga, sjedio oko logorske vatre.

Homo erectus (kao i *Homo sapiens* mnoge tisuće godina), mogao je upotrebljavati samo onu vatru što se spasila od materijala koji su zapalili prirodni uzroci, najčešće udar munje, i morali su je pomno održavati hraneći je gorivom. Ako bi se vatra uglasi, morala se dobaviti druga iz neke druge logorske vatre ili, ako takve nije bilo na dosegu, valjalo je čekati novu vatru što bi je stvorila munja.

Ljudska su bića vjerojatno tek oko 7000. godine pr. n. e. naučila postupke za dobivanje vatre tamo gdje je prije nije bilo, obično uz pomoć trenja.

Obična vatra što ju je upotrebljavao prvi čovjek rezultat je kemijske reakcije kod koje se pare što nastaju zagrijavanjem organskih tvari, kao što su drvo ili ulje, spajaju s kisikom u zraku. Taj spoj stvara dovoljnu koncentraciju topline da bi zračio svjetlošću, a temperature koje nastaju premašuju 1.000°C.

Upotrebljavajući vatru, ljudska bića mogu dakle stvarati temperature koje opet potiču djelovanja što se bez njih ne bi javila. Na primjer, kotlić s vodom stavljen iznad vatre sigurno će uzavreti, iako to neće prouzročiti nikakav čisto meteorološki činitelj. Na toplini vatre može se kuhati hrana, pijesak pretvarati u staklo, glina u opeku, različite rudače u metale.

Obična vatra od drva nije nipošto onoliko vruća koliko vatra uopće može biti. U suvremeno doba iskorištavaju se kemijske reakcije koje stvaraju mnogo više energije. Spoj plinova kisika i vodika stvara plamen koji ima temperaturu 2.800°C; kisika i acetilena 3.300°C. Danas se mogu postići (nakratko) i daleko više temperature.

Spoj visokih temperatura i točnih metoda za njihovo mjerenje (uključujući i druge naprave osim običnih termometara) omogućio je dobivanje točnih vrijednosti visokih tališta.

U prirodnim uvjetima, jedina uobičajena tvar koja se topi kod običnih temperatura jest led. No već na početku povijesnog doba ljudska su bića naučila upotrebljavati vatru za pripravljanje metala iz rudača, i u tom procesu metali su se talili.

Od sedam metala poznatih antičkim narodima (o čemu smo već govorili), jedan je bio živa koja već jest tekućina pri svim običnim temperaturama. Olovo i kositar, krutine pri običnim temperaturama, mogu se taliti bez pretjeranih teškoća čak dosta primitivnim metodama. Talište kositra je na 231,9°C, a olova na 327,5°C.

Srebro, zlato i bakar imaju viša tališta; redom, 960,8°C, 1.063°C i 1.083°C. Najviše talište od svih antičkih metala ima željezo koje se ne može rastaliti sve dok se ne dosegne temperatura od 1.535°C.

Gore navedena tališta vrijede za čiste metale. Metali koji su pomiješani jedan s drugim (legure) obično se tale na nižim temperaturama nego čisti metali, no čak i tada legure željeza ostaju otpornije na taljenje od drugih legura. Djelomično se iz tog razloga željezo počelo upotrebljavati mnogo kasnije od drugih metala, unatoč činjenici da je ono najčešće i najkorisnije.

Tako se bronca (legura bakra i kositra) na nekim mjestima počela upotrebljavati još 3600. godine pr. n. e. i bila je prvi dovoljno tvrdi metal da bi poslužio za oruđe i oružje. Željezo se, s druge strane, nije uspješno talilo sve do oko 1400.

godine pr. n. e., više od 2.000 godina kasnije. Bile su potrebne temperature više od onih koje je mogla stvoriti vatra ložena drvom pa je kao gorivo valjalo uvesti drveni ugljen.

Stijenje se tali teže od tih dugo poznatih metala. Takve česte komponente stijenja kakve su aluminijev silikat, kalcijev silikat i magnezijev silikat tale se na negdje oko 2.000°C.

U današnje su doba međutim otkriveni metali koji se tale na još višim temperaturama. Hafnij se tali na 2.150°C, rutenij na 2.250°C, iridij na 2.410°C, niobij na 2.468°C, molibden na 2.610°C, tantal na 2.992°C, osmij na 3.000°C, renij na 3.180°C i tungsten na 3.410°C.

Tungsten ima najviše talište od svih metala i to je jedan od razloga zašto se on upotrebljava za žarne niti u žaruljama. On najbolje odolijeva stalnim visokim temperaturama (pod uvjetom da je okružen nekim plinom, kao što je argon, s kojim ne reagira).

Postoje dva elementa koja nisu metali, ali imaju također visoka tališta. Bor se topi na 2.300°C, a ugljik sublimira (to jest krutina se pretvara izravno u plin, a ne tali se do tekućeg stanja) na temperaturi nešto višoj od 3.500°C. Prema tome, od svih elemenata ugljik ostaje krutina na najvišoj temperaturi.

Atomi raznih elemenata mogu se kemijski spajati, stvarajući spojeve s visokim talištima. (Oni nisu isti kao i legure koje su obične mješavine, a ne kemijski spojevi.) Spojevi s najvišim talištima obično se sastoje od jednoga metalnog atoma u kemijskoj kombinaciji s malim nemetalnim atomom, kao što su atom bora, ugljika, kisika ili dušika. Borov karbid ima talište na 2.350°C, niobijev nitrid na 2.573°C, a kalcijev oksid na 2.580°C.

Postoji najmanje devet spojeva te vrste koji imaju tališta iznad 3.000°C i četiri s talištem na 3.500°C ili više. Niobijev karbid tali se na 3.500°C, cirkonijev karbid na 3.540°C, tantalov karbid na 3.880°C i hafnijev karbid na 3.890°C.

Od svih postojećih supstancija, tako se čini da samo hafnijev karbid ostaje krut na 3.890°C. Iznad te temperature mogu postojati samo tekućine i plinovi.

Naravno, ako se temperatura nastavlja povećavati, tekućine ključaju i postaju plinovi. Platina, na primjer, ključa na 4.300°C, a to nipošto nije maksimum. Osmij ključa na nešto višoj temperaturi od 5.300°C, dok renij i tungsten ključaju na oko 5.900°C.

Metal tantal i spoj tungstenov karbid imaju vrelište na oko 6.000°C i to je vjerojatno maksimum za sve supstancije u uvjetima kakvi su na površini Zemlje. Iznad 6.000°C, sve supstancije su plinovi.

PLANETI I ZVIJEZDE

Što se događa ako se udaljimo od površine Zemlje? Kako je s površinama drugih svjetova?

U našem Sunčevu sustavu postoje tri velika objekta koja su jednako blizu Suncu kao i Zemlja ili još bliže. To su naš satelit, Mjesec, te dva unutrašnja planeta, Merkur i Venera.

Mjesec obilazi oko Zemlje na udaljenosti mnogo manjoj (samo 1/390) nego što je udaljenost i Zemlje i Mjeseca od Sunca. To znači da je Mjesec u osnovi jednako udaljen od Sunca kao i Zemlja te bi se moglo očekivati da ima uglavnom istu površinsku temperaturu kao i Zemlja.

Zemlja, međutim, ima atmosferu koja održava toplinu i osigurava njezino kolanje, tako da dan nije tako vruć, niti je noć tako hladna kao što bi bili bez atmosfere. Mjesec nema atmosfere pa stoga ima veće ekstreme površinske temperature, utoliko više što Mjesec obiđe oko Sunca samo jedanput u 29,5 dana. Za svake svoje rotacije on ostaje izložen Sunčevoj toplini znatno duže nego Zemlja.

Rezultat je toga da Mjesec na svome ekvatoru doseže površinsku temperaturu nešto malo višu od 100°C, temperaturu što za više od 40°C premašuje onu koja se postiže na bilo kojoj točki Zemljine površine zagrijavanoj samo Suncem.

Merkur je od svih planeta najbliži Suncu; tijekom svoje revolucije, najmanja udaljenost od Sunca iznosi mu 46,000.000 kilometara, što je samo 0,3 udaljenosti Zemlje od Sunca. Štoviše, on nema atmosfere i rotira vrlo polako. Maksimalna površinska temperatura na Merkuru doseže oko 425°C. Kad bi na Merkurovoj površini bilo kositra i olova u krutom obliku (no nema ih), oni bi se rastalili na punoj vrelini podnevnoga Sunca kad mu je Merkur najbliži.

Pa ipak, Merkur ne drži rekord površinske temperature među planetima Sunčeva sustava.

Venera, udaljena od Sunca 108,000.000 kilometara, 2,3 puta je dalje od Sunca nego što je to Merkur (iako samo

tri četvrtine Zemljine udaljenosti). Štoviše, Venera ima neobično gustu atmosferu (devedeset puta gušću od Zemljine) koja održava dobru distribuciju temperature. Ona također ima gusti sloj oblaka koji reflektira oko tri četvrtine Sunčeva zračenja i sprečava da ono dopre do njezine površine. Iz svih bi se tih razloga činilo da bi Venerina površinska temperatura mogla biti razmjerno blaga — svakako manje žestoko vrela od Merkurove.

Ali nije tako! Venerina gusta atmosfera sastoji se od više od 90 posto ugljičnog dioksida, supstancije koja zadržava solarnu toplinu i omogućuje temperaturi da dosegne visoke razine. Kao posljedica toga, Venerina površinska temperatura, na čitavom planetu, i danju i noću, iznosi oko 475°C, 50°C više od Merkurove u najgorem slučaju. K tome, dok se pojedine točke na Merkurovoj površini znatno rashlade tijekom noći, nijedna točka na Venerinoj površini nikad se značajnije ne rashladi, zahvaljujući efektu izjednačavanja temperature što ga ima gusta atmosfera.

Postoji jedno malo tijelo koje bi moralo imati višu površinsku temperaturu čak i od Venere — iako samo na mahove. To je asteroid Ikar, gromada stijenja promjera oko jedan kilometar što ju je 1948. godine otkrio njemačko-američki astronom Walter Baade (1893—1690). On obiđe Sunce za 1,12 godina, a njegov najbliži primak Suncu iznosi samo 28,500.000 kilometara, što je tek pol udaljenosti Merkurova najbližeg primaka.

Ikarova površina, tako blizu izložena Suncu, nedvojbeno se mora, barem povremeno, zagrijati do temperature od čak 650°C. Površina Ikara tako bi bila dovoljno vruća da emitira tako snažno zračenje koje se može otkriti kao svjetlost (ako bismo nekako mogli zatamniti neizdrživo blještavilo razjarenog Sunca). Drugim riječima, Ikarova površina bila bi zagrijana do zamagljenog crvenog žara.

Neki se kometi povremeno primiču Suncu još bliže od Ikara, no dok je Ikar grumen kamenja, čini se da su kometi od ledena materijala s primjesom prašine i šljunka (i, ponekad, s kamenitim jezgrom). Kad se kometi približavaju Suncu, jedan dio ledenog materijala ispari pa se oslobađaju prašina i šljunak. To stvara maglicu oko jezgre kometa koja sprečava da ta jezgra dosegne temperaturu što bi je inače dosegla. Zato se ne zna točno kakva je temperatura kometa kad se najviše približe Suncu.

Također, sigurno postoje i meteori koji se povremeno toliko približe Suncu da ispare.

To nas dovodi do najvrelijeg objekta u Sunčevu sustavu, do samoga Sunca. Površinska temperatura Sunca može se odrediti na temelju prirode njegova zračenja, prema temeljnom računu što ga je prvi izradio 1879. godine austrijski fizičar Josef Stefan (1835—93).

Površina Sunca ima, u najvećem dijelu, temperaturu od oko 5.500°C. To je tek nešto ispod vrelišta renija, tungstena, tantala i tungstenova karbida. Te su supstanicije, međutim, na Suncu prisutne nedvojbeno samo u tragovima i ni na jednom ih mjestu nema u dovoljnim količinama da bi se pojavile kao tekuće. Nema dvojbe, prema tome, da je Sunčeva površina po prirodi potpuno plinovita.

Tome je tako iako na Sunčevoj površini postoje područja gdje se plinovi šire i hlade zbog nekog lokalnog djelovanja (zasad još nedovoljno razjašnjenog) u vezi sa Sunčevim magnetskim poljem. Ti ohlađeni plinovi ne zrače tako snažno kao površinska područja općenito pa se doimaju tamnima na blistavijoj podlozi. Temperatura u središtu tih »Sunčevih pjega« može biti niža, oko 3.750°C. U tim uvjetima, tantalov karbid i hafnijev karbid (ako bi ih u jednoj pjegi bila dovoljna količina, što sigurno jest) zapravo bi ostali u krutom stanju.

Postoji i pojava obratna od Sunčevih pjega. U blizini Sunčevih pjega lako mogu buknuti »Sunčeve baklje«, iznenadne eksplozije energije koje traju između nekoliko sekundi pa sve do gotovo jednog sata. One svjetlucaju bijelo na već blistavoj površini Sunca, jer imaju mnogo višu temperaturu od Sunčeve površine općenito.

A kako je s ostalim zvijezdama? Velika većina zvijezda što ih možemo vidjeti na nebu, ili golim okom ili uz pomoć instrumenata, nalazi se, kao i Sunce, u »glavnoj sekvenci«. To su zvijezde u svojoj krepkoj mladosti koje postojano blistaju kroz duga vremenska razdoblja, zahvaljujući prisutnosti obilnih količina vodika koji služi kao sirovina za nuklearnu fuziju što stvara energiju.

Zvijezde s masom većom od Sunčeve imaju i više temperature. Najmasivnije zvijezde u glavnoj sekvenci, pa prema tome i najvrelije, imaju površinske temperature do 40.000°C.

Dosad smo govorili samo o temperaturama na površini astronomskih tijela. No, nije vjerojatno da bi površinska temperatura nekog tijela bila i najviša. U mnogim je slučajevima površina najhladniji dio tijela.

Uzmimo Zemlju, na primjer. Ako se uspinjemo kroz atmosferu, dalje od planetarne površine, gustoća atmosfere opada. A tako je i s ukupnim sadržajem topline u atmosferi.

Međutim, opadanje gustoće i opadanje ukupnog sadržaja topline ne moraju se nužno podudarati. U nekim područjima gustoća se smanjuje znatno brže od sadržaja topline, pa iako je ukupne topline manje, pojedini atomi i molekule dobivaju veći dio koji na njih otpada.

Do visine od 150 kilometara iznad površine smanjuje se temperatura atmosfere, ali iznad te visine smanjuje se gustoća, i nastavlja se smanjivati na takav način da pojedini atomi i molekule dobivaju neprekidno sve veći dio ukupne topline (koja se također smanjuje, no ne tako brzo).

Kad je dosegnuta visina od 300 kilometara, temperatura prisutnih rijetkih čuperaka zraka je oko 1.500°C. (Što se toga tiče, bljesak munje može stvoriti trenutačnu temperaturu visoku do 30.000°C).

To zvuči kao da je gornja atmosfera dovoljno vruća da bi mogla rastaliti željezo, no zaparavo nije tako. Temperatura, u smislu toplinskog intenziteta u pojedinačnih atoma, visoka je, no atoma ima tako malo da je ukupan sadržaj topline vrlo malen. Raketa ili svemirski brod koji prolaze gornjom atmosferom susreću atome vrlo nabijene energijom, ali toliko ih je malo da toplina što se prenosi od njih na brod nije dovoljna kako bi prouzročila štetu.

Ista se stvar događa u slučaju Sunca, ali naravno u mnogo ekstremnijem stupnju. Gornja atmosfera Sunca je njegova »korona«, obično vidljiva samo tijekom potpune pomrčine. Temperatura korone penje se do čak 1,000.000°C, kao što je to otkrio 1942. godine švedski astronom Bengt Edlen (1906—) na temelju prirode zračenja korone.

Korone vrućih zvijezda imale bi razmjerno više temperature koje bi mogle dosezati do 10,000.000°C.

No, do područja viših temperatura ne stiže se samo uzdizanjem od površine; isto se događa i pri spuštanju u dubinu s površine. Razmotrit ćemo još jedanput Zemlju.

Sunčev sustav nastao je od oblaka plina i prašine koji se kondenzirao pod utjecajem vlastitog gravitacijskog polja. Najveći dio prvobitnog oblaka sažeo se u ono što je danas Sunce, no nešto materijala na rubovima stopilo se u fragmente tvari koja se skupila u planete i satelite što danas postoje.

Tvar koja se skupljala imala je kinetičku energiju, i dok se ta tvar sudarala i smirivala (u međusobnu odnosu), ta se kinetička energija pretvarala u toplinu. Zemlja i druga tijela znatne veličine počeše svoje postojanje, prema tome, kao dosta vrući objekti. Vanjska se površina hladila, ali unutrašnjost je ostala vruća.

Unutrašnjost je ostala vruća tijekom razdoblja od milijardi godina zato što, ponajprije, vanjski, hladni slojevi stijenja služe kao izvrstan toplinski izolator, smanjujući strujanje topline iz unutrašnji u vanjski prostor do razmjerno malog prostrujavanja; i drugo, prisutnost radioaktivnih atoma urana, torija i nekih izotopa kalija i samarija u kamenitom ustroju Zemlje stvaraju pri raspadanju toplinu — ne mnogo, ali dovoljno da se nadoknade male količine topline što su izgubljene. I tako je Zemlja ostala vruća u središtu tijekom cijele svoje povijesti duge 4,600.000.000 godina, a vruća je i danas.

Iz svoga iskustva s rudnicima znamo da temperatura raste oko 1 stupanj svakih 30 metara kako kopamo u dubinu. Ta se stopa vjerojatno usporava ispod gornjeg sloja Zemljine kore, gdje se nalazi većina radioaktivnih elemenata. U središtu Zemlje, prema prihvatljivim procjenama geologa, temperatura može iznositi 4.000°C.

Ako je tome tako, središte Zemlje ima višu temperaturu od hladnijih dijelova solarne površine.

Središte Zemlje nije samo toplije od najgornjih tragova atmosfere (iako nije tako vruće kao bljesak munje), već je ono gusto nabijeno tvarima, dok je gornja atmosfera gotovo vakuum. Ukupna toplina u Zemljinu središtu je, prema tome, mnogo milijuna puta veća od ukupne topline gornje atmosfere.

Naravno, i druga su astronomska tijela vruća u središtu. Općenito, što neko tijelo ima veću masu, to je toplije u središtu, jer je više kinetičke energije pohranjeno u obliku topline tijekom procesa nastajanja. Od planetarnih tijela, toplinu veću od Zemljine u središtu možemo očekivati samo u

onih koja imaju masu veću od Zemlje, a poznata su samo četiri takva: Jupiter, Saturn, Uran i Neptun.

Daleko najveći od svih planeta je Jupiter. Dok od površine Zemlje do njezina središta ima samo 6.378 kilometara, od površine Jupitera do njegova središta ima 71.600 kilometara (jedanaest puta više).

Vidljiva površina Jupitera (zapravo sloj oblaka) je hladna, daleko hladnija od Zemljine površine, jer je Jupiter pet puta udaljeniji od Sunca nego što smo to mi pa prima samo 1/25 zračenja što ga mi primamo. No ako zamislimo da poniremo ispod Jupiterove vidljive površine, temperatura naglo raste.

Jupiterove sonde iz 1970-ih godina osigurale su nam onu vrst podataka kakva nam je potrebna da bismo na prihvatljiv način procijenili unutrašnju temperaturu toga divovskog planeta. Na nekom mjestu 1.000 kilometara ispod Jupiterove vidljive površine, temperatura se gotovo približava onoj u središtu Zemlje, a na većim se dubinama dalje povećava. U samom središtu Jupitera temperatura je 54.000°C, gotovo deset puta viša nego na površini Sunca. To, međutim, još nije dovoljno visoka temperatura da bi pokrenula nuklearnu fuziju pa tako Jupiter ostaje planet. On čak nema ni dovoljno veliku masu da bi bio najpatuljastiji od patuljastih zvijezda.

Sunce ima 1.040 puta veću masu od Jupitera. Dok je nastajalo Sunce, temperature u njegovu središtu uspinjale su se znatno više nego u slučaju mnogo manjeg Jupitera. Temperatura je zapravo dovoljno porasla za pokretanje nuklearne fuzije. Toplina što ju je stvarala fuzija dalje je povećavala temperaturu.

Početkom 1920-ih godina, engleski astronom Arthur Stanley Eddington (1882—1944) uspio je pokazati, na temelju analize količine topline potrebne da ne bi nastao kolaps Sunca pod utjecajem njegove gravitacije, da temperatura u središtu Sunca mora biti 15,000.000°C.

To je najvrŭće područje guste tvari u Sunčevu sustavu. U posljednje je doba otkriveno kako u blizini Jupitera postoje još toplija područja, zahvaljujući djelovanju silnoga magnetskog polja tog planeta. Tamo je, međutim, ukupan broj atoma (ma kako bili nabijeni energijom) tako malen da ukupna toplina nije značajna. Štoviše, atomi su previše udaljeni jedan od drugoga a da bi se mogli sudarati dostat-

no često za održavanje kakve fuzijske reakcije iako, teorijski, imaju dovoljno energije za to.

Začudo, ljudska bića danas mogu stvarati još više temperature.

Od 1950-ih godina neprekidno su ulagani napori na stvaranju kontrolirane fuzije kao izvora energije ovdje na Zemlji. U tu je svrhu potrebno zagrijavati male količine vodika do vrlo visokih temperatura, temperatura viših nego u središtu Sunca.

Dok je temperatura od 15,000.000°C dovoljna da bi održavala fuziju u Sunčevu središtu gdje materijal nije samo vrlo vruć, već i vrlo gust, i gdje tu gustoću održava Sunčeva snažna gravitacija, situacija je na Zemlji drukčija. Ovdje na Zemlji ne možemo postići gustoću vodika pomoću nekog intenzivnog gravitacijskog polja, a ako se vodik mora upotrebljavati u stanju manje gustoće, potrebno je, da bi se to kompenziralo, stvoriti još višu temperaturu.

Ljudska bića mogu stvoriti atome izvanredno visoke energije (što je jednako kao i stvaranje vrlo visokih temperatura) tako da ih ubrzavaju u različitim napravama koje primjenjuju elektromagnetska polja, ili tako da ih vrlo naglo zagrijavaju snažnim zrakama laserske svjetlosti. Na taj su način stvorene temperature više od 50,000.000°C u vrlo malih količina vodika kroz vrlo kratka vremenska razdoblja. U trenutku dok ovo pišem, takve temperature još nisu dovoljno visoke za pokretanje kontrolirane fuzije.

No, nekontrolirana fuzija u obliku hidrogenskih bombi iniciranih uranovom fizionom bombom kao okidačem već je realnost tridesetak godina. Procjenjuje se da se u središtu hidrogenske bombe nakratko postižu temperature do 400,000.000°C.

Prema tome, umjetne temperature daleko nadmašuju sve što priroda može učiniti u Sunčevu sustavu, no ipak ono što mi činimo nije ni ravno onome što priroda može *onkraj* Sunčeva sustava.

Što neka zvijezda ima veću masu, to je toplija na površini i na svim etapama do središta. Stoga možemo očekivati da će zvijezda s vrlo velikom masom imati u središtu mnogo višu temperaturu od Sunca. K tome, sve zvijezde u toku svoga razvoja postaju voš vrûće u svojim jezgrama.

Fizičar Hong-Ji Čiu pokušao je prije nekoliko godina izračunati maksimalnu temperaturu koju bi moglo imati sre-

dište neke zvijezde. Iznio je mišljenje da bi 6,000.000.000°C bila najviša temperatura što je možemo očekivati u vezi sa zvijezdama. To bi bila temperatura u jezgri neke zvijezde mnogo masivnije od Sunca, u vrijeme kad je ta masivna zvijezda dosegla onu fazu u svome životnom ciklusu kad je spremna eksplodirati u ogromnu »supernovu«.

No čak ni brojka od 6,000.000.000°C ne predstavlja maksimum. Pokušajmo se vratiti unatrag u vrijeme, prema rođenju svemira tijekom velikog praska.

Što dalji povratak u vrijeme zamišljamo, to je manji volumen svemira i zbijeniji njegov sadržaj energije (koji će, ukupno, ostati konstantan u vremenu). Svaki kubični metar svemira sadržavao bi sve više i više energije, prema tome, kako zamišljamo svoje putovanje unatrag u vremenu. To je drugi način da se kaže kako svemir postaje sve vrući i vrući kako se vraćamo u vrijeme.

Prema najnovijim teorijama (ako su točne — a to, zasad, nipošto nije sigurno), čini se da smo mi u stanju osmisliti zbivanja u vrlo malom djeliću sekunde poslije velikog praska. Primjerice, 1/10.000 sekunde poslije velikog praska reklo bi se da su nastali neutroni i protoni od još fundamentalnijih čestica koje se zovu »kvarkovi«. Temperatura je tada morala iznositi 1,000.000.000.000°C (bilijun stupnjeva).

Najbliže velikom prasku koliko fizičari mogu primaknuti svoje kalkulacije jest 10^{-43} sekundi, kad je temperatura mogla iznositi 100,000.000.000.000.000.000.000.000.000.000°C (sto milijuna bilijardi bilijardi stupnjeva).

Ako se još više primaknemo velikom prasku, volumen svemira prividno se približava nuli, a njegova temperatura raste bez granice prema beskonačnome.

22

Niske temperature

PLANETARNE POVRŠINE

Pošto smo dosegli nezamislivo visoke temperature, vratimo se običnim temperaturama koje osjećamo ovdje na površini Zemlje te se upitajmo kako daleko možemo ići, i jesmo otišli, u drugome smjeru, prema vrlo hladnome.

Ljudi koji žive izvan tropa doživljavaju zimi hladno vrijeme, a ako žive na područjima daleko od ekvatora, znaju da temperature ispod ledišta vode nisu ništa neobično. U tom slučaju Celzijeva skala prelazi na negativne brojeve. Voda se, napokon, smrzava na 0°C i sve hladnije od toga mora biti negativno.

Prema Fahrenheitovoj skali, ledište vode nalazi se na 32°F pa brojka ostaje pozitivna još 32 Fahrenheitova stupnja ispod ledišta. Budući da su 32 Fahrenheitova stupnja jednako kao i 17 i 7/9 Celzijevih stupnjeva, 0°F iznosi gotovo —18°C. No to nije dovoljno da bi nas poštedjelo negativnih brojeva. Zimsko vrijeme može nas dovesti do negativnih brojeva i na Fahrenheitovoj skali.

Na primjer, najhladniji dan u New York Cityju zabilježen u povijesti Meteorološkog zavoda bio je 9. veljače 1934, kad je temperatura dosegla —26°C (ili —15°F), a New York City nije osobito hladan grad. Toga istoga dana, Rochester u New Yorku imao je —33,3°C.

Najniža temperatura zabilježena igdje u četrdeset i osam saveznih država koje su na okupu iznosila je —56,5°C, a bilo je to u Rogers Passu u Montani, 20. siječnja 1954. godine.

Na Aljasci bismo, naravno, očekivali još niže temperature; u Prospect Creek Campu, Aljaska, izmjerena je 23. siječnja 1971. godine temperatura od —62°C.

No ni Aljaska nije najhladnije mjesto na svijetu. Sibir je hladniji — gradovi Verhojansk i Ojmjakon u Sibiru oba su imala temperature od —68°C, posljednji je put to bilo u Ojmjakonu 6. veljače 1933. godine. To je rekord za sjevernu polutku.

Na južnoj polutki nalazi se Antarktika, hladnjak svijeta. Sovjetski Savez ima tamo meteorološki opservatorij na mjestu zvan Vostok koje se nalazi najdublje na kopnu pa se pretpostavlja da je i najhladnije. Temperatura je 24. kolovoza (na južnoj polutki najhladniji su mjeseci srpanj i kolovoz) dosegla —88°C, a to je najniža prirodna temperatura zabilježena igdje na Zemlji.

Bilo bi lijepo riješiti se negativnih temperatura, ako bismo mogli, a slučajno to možemo. Francuski fizičar Guillaume Amontons (1663—1705) otkrio je 1699. godine da se plinovi s padom temperature kontrahiraju ujednačenom stopom. On je, naravno, mogao postići samo umjereno niske temperature s obzirom na ondašnji stupanj znanosti, no izračunao je da bi plin, ako se kontrakcija nastavi jednolikom stopom, dosegao volumen nula negdje oko temperature koju danas označavamo kao —240°C. Njegov je rad u tom smislu bio uglavnom zanemaren.

No, francuski je kemičar Joseph Louis Gay-Lussac (1773—1850) godine 1802. ponovio te eksperimente preciznije te otkrio da se plinovi sažimaju brzinom koja bi ih svela na volumen nula na —270°C. Današnja je vrijednost, najtočnije kako se može odrediti, —273,15°C.

Nitko, naravno, ne očekuje doista da će plinovi doseći volumen nula i nestati na —273,15°C, niti na bilo kojoj temperaturi. Kako se temperatura smanjuje, atomi ili molekule postupno se približavaju jedni drugima sve dok se, na kraju, plin ne pretvori u tekućinu. U tom trenutku atomi ili molekule nalaze se u kontaktu, a tekućina se sažima samo još vrlo malo ako se dalje hladi. Tako ne postoji »volumen nula« koji bi smućivao um te bi se činilo da bi temperatura mogla beskrajno padati.

No tada je, 1848. godine, škotski fizičar William Thomson (1824—1907), koji je, kasnije u životu, dobio plemstvo pa je danas poznatiji kao lord Kelvin, pokazao da atomi ili mole-

kule svih tvari, bili to plinovi ili ne, gube kinetičku energiju konstantnom brzinom sa snižavanjem temperature. Kod plinova se to manifestiralo kao konstantno sažimanje, no to nije bilo važno. Bitan je bio gubitak energije. Na —273,15°C sadržaj energije dosezao je nulu i temperatura se više nije mogla spuštati. Ta temperatura (koja odgovara —459,67°F) bila je »apsolutna nula«.

Postoji, prema tome, »apsolutna skala« temperature na kojoj nema negativnih vrijednosti. Da bi se Celzijeva skala pretvorila u apsolutnu skalu, potrebno je samo dodati 273 stanju na Celzijevoj skali (decimalna mjesta obično se zanemaruju).

Tako tjelesna temperatura, 37°C, postaje 310°K, gdje »K« označava kelvine. Slično tome, najniža zabilježena temperatura u New York Cityju, —26°C, postaje 247°K, a svjetska rekordno niska temperatura u Vostoku na Antarktici iznosi 185°K.

Površine drugih svjetova u Sunčevu sustavu (isključujući Sunce i planet Veneru) mogu doseći tako niske temperature kakve površina Zemlje nikad ne postiže.

Mjesec postaje vrlo vruć na onom dijelu površine koji je izložen Sunčevoj svjetlosti, ali temperatura naglo pada kad ta površina zađe u noćnu sjenu, jer nema atmosfere koja bi zadržavala toplinu. Pojedine točke na Mjesečevoj površini imaju noć dva tjedna i zato je lunarna temperatura, neposredno prije zore, samo 100°K, znatno niža od najniže antarktičke temperature.

Merkur je mnogo bliži Suncu nego što je to Mjesec pa njegova površina može postići mnogo više temperature tijekom Merkurova dana, no njegova je noć šest puta dulja od Mjesečeve noći pa zato njegova temperatura još više pada, unatoč blizini Sunca. Neposredno prije no što divovsko Merkurovo Sunce proviri iznad horizonta, temperatura Merkurove površine može biti samo 90°C.

Mars je udaljeniji od Sunca nego što je to Zemlja, no njegova noć traje samo nekoliko minuta dulje od Zemljine, pa on ne postiže tako niske temperature kao Mjesec i Merkur. Minimalna temperatura na Marsu može iznositi 120°K, no to je ipak hladnije nego na Antarktici.

To je minimum na Marsu koji se postiže na njegovoj južnoj polarnoj kapi. Gornji dio sloja oblaka koji pred-

stavlja vidljivu površinu Jupitera i Saturna pokazuje u tom istom području temperature koje nisu rekordno niske, već prosjek za čitav planet.

Vidljive površine planeta koji su još udaljeniji od Sunca imaju još niže temperature, jer se kalorični efekt Sunca smanjuje s kvadratom udaljenosti. Uran je dvadesetak puta udaljeniji od Sunca nego što smo to mi, a Neptun trideset puta. Uran prema tome dobiva samo 1/400 one Sunčeve topline koju mi dobivamo, a Neptun 1/900.

I zato ne iznenađuje što temperatura Uranove vidljive površine iznosi oko 90°K, a Neptunove oko 60°K.

Pluton, najudaljeniji od svih poznatih planeta, ima površinsku temperaturu možda samo 40°K kad je na onom dijelu svoje orbite koji ga odvodi najdalje od Sunca.

LIKVEFAKCIJA PLINOVA

I pri niskim temperaturama koje se prirodno postižu na Zemlji, događaju se neke neobične promjene. Primjerice, na 233°K (—40°C) živa se smrzava i postaje krutina.

I dalje, kositar se u svome normalnom obliku naziva »bijeli kositar« i tada je metal. Na niskim temperaturama, međutim, njegovi atomi poprimaju drukčiji razmještaj, stvarajući supstanciju koja se zove »sivi kositar« i koja ima svojstva nemetala. Točka te promjene je na 286°K (13°C), što je temperatura tek prohladnog proljetnog dana u New Yorku, no na toj temperaturi je prijelaz iz bijelog u sivi kositar izvanredno polagan.

Što je, međutim, temperatura niža, to je pretvaranje brže, i na temperaturi od 223°K (—50°C) bijeli kositar naglo propada. Ljudi koji su se pitali što se to događa nazvali su to »kositrovom bolešću«. Ta je pojava postala glasovita kad su se, jedne ciče ruske zime, raspali kositreni piskovi orgulja u jednoj petrogradskoj katedrali.

Znanstvenici su bili sigurni da će još jedno zapanjujuće djelovanje niskih temperatura biti likvefakcija tvari koje su normalno u plinovitom obliku — čak i kad se ta likvefakcija nije događala u prirodi.

Glavni plinovi atmosfere jedini su plinovi koji se prirodno javljaju u velikim količinama, a oni se ne pretvaraju u

tekuće stanje ma kako atmosferske temperature bile niske — čak ni na Antarktici.

Kemičari, međutim, mogu proizvesti plinove kojih u prirodi nema u velikim količinama, a oni mogu prijeći u tekuće stanje ako se temperatura dovoljno spusti, pa i onda ako to snižavanje temperature ne bi dostajalo za atmosferske plinove kakvi su kisik ili dušik. K tome, mogao bi pomoći i pritisak, jer bi to jače približilo molekule plina jedne drugima i moglo bi potači proces likvefakcije.

Prvi se sistematski latio procesa likvefakcije plinova engleski kemičar Michael Faraday (1791—1867).

On je upotrijebio čvrstu staklenu cijev koju je savio u oblik bumeranga. U zatvoreno je dno stavio jednu supstanciju koja će, kad se zagrijava, oslobađati plin klor. Zatim je zabrtvio otvoreni kraj cijevi.

Kraj cijevi s materijalom što stvara klor stavio je u vruću vodu, a drugi kraj u zdrobljeni led. Na vrućem kraju stvaralo se sve više i više klora, tako da je on u zatvorenoj cijevi dolazio pod sve veći vlastiti pritisak. U hladnom kraju cijevi njegova se temperatura spuštala, i pri udruženom djelovanju sve niže temperature i sve višeg pritiska na hladnom kraju cijevi nastajao je tekući klor. Bilo je to 1823. godine.

To je izložilo princip, ali nije postavilo nikakvih novih horizonata. Kad je jedanput dobiven tekući klor, moglo se izmjeriti njegovo vrelište; pokazalo se da je ono na 238,5°K (—34,5°C). Ako bismo imali hermetički zatvorenu posudu s plinom klorom, dostajao bi neki vrlo hladan dan u Moskvi ili Montani da se on pretvori u tekućinu.

Tekući plinovi mogu se upotrijebiti za još veće snižavanje temperature. Pretpostavimo da je neki plin pretvoren u tekućinu pod pritiskom. Ako se taj pritisak potom polako smanjuje, tekući plin počinje isparavati. To znači da se molekule tekućine moraju razmaknuti kako bi nastala para, a da bi to učinile potrebna im je energija. Ako se tekućina drži u izoliranoj komori, malo se te energije može pribaviti izvana. Umjesto toga, ona se mora pribaviti od jedine dostupne supstancije — same tekućine. Dok se, prema tome, tekućina isparava, temperatura onog dijela koji ostaje neisparen se smanjuje.

Francuski kemičar C. S. A. Thilorier primijenio je 1835. godine Faradayevu metodu za stvaranje tekućeg ugljičnog

dioksida pod pritiskom, upotrijebivši metalne cilindre koji će podnijeti veće pritiske nego staklene cijevi. Pripravio je veću količinu ugljičnog dioksida i zatim pustio da isteče iz cijevi kroz usku mlaznicu. Zbog naglog oslobađanja pritiska ispario je dio tekućine što je izlazila, a temperatura ostatka tako je oštro snižena da se ugljični dioksid smrznuo.

Tekući ugljični dioksid stabilan je samo pod pritiskom. Kruti ugljični dioksid izložen običnim pritiscima sublimira, isparavajući se izravno u plinovito stanje, bez otapanja. (Zato se kruti ugljični dioksid naziva »suhi led«). Točka sublimacije je na 194,5°K. To znači da bi se za vrlo hladnih noći u najhladnijem dijelu Antarktike veća količina plinovita ugljičnog dioksida zamrzla, no jedva.

Thilorier je pošao i dalje. Pomiješao je kruti ugljični dioksid s dietil eterom (čestim anestetikom) koji ostaje tekuć i na temperaturi krutoga ugljičnog dioksida. No čak i na tako niskoj temperaturi dietil eter sklon je isparavanju, iako mnogo polaganije nego pri normalnim temperaturama. Pri njegovu isparavanju temperatura mješavine dalje se smanjivala. Thilorier je uspio postići temperature od samo 163°K — pa je nadmašena čak i Antarktika. Po prvi put, najniže temperature na Zemlji bile su čovjekova podrijetla.

Uz primjenu te osobito hladne mješavine i drugi su plinovi pretvarani u tekućine — ali ne svi!

Faraday je otkrio stanovit broj plinova koje nije mogao pretvoriti u tekućine čak ni uz pomoć tog rashlađivača i pritiska pa ih je nazvao »permanentnim plinovima«. Poslije Faradayjeva doba otkriveno je još nekoliko plinova koje bi Faraday dodao tom popisu da ih je bio poznavao i imao priliku proučavati.

Ukupno postoji osam plinova koji se ne mogu pretvoriti u tekućine na 163°K, niti uz pritisak. To su kisik, argon, fluor, ugljični monoksid, dušik, neon, vodik i helij. Sedam su od njih elementi. Jedini spoj je ugljični monoksid, molekule kojega se sastoje od jednog atoma ugljika i jednog atoma kisika.

Irski kemičar Thomas Andrews (1813—85) pokazao je 1869. godine da pritisak može pretvoriti plinove u tekućine samo ispod određene »kritične temperature«. Iznad te kritične temperature pritisak ne pomaže. Osam permanentnih plinova imalo je kritične temperature ispod 163°K. Da bi se

ti plinovi mogli pretvoriti u tekućine, bio je potreban neki način da se oni ohlade do svoje kritične temperature ili ispod nje, prije no što se uspješno mogao primijeniti pritisak.

Znanstvenici su se opet okrenuli hlađenju preko ekspanzije. Taj princip nije vrijedio samo za isparavanje hladne tekućine. Plin će se također ohladiti, ako mu se dopusti širenje u uvjetima gdje ne može prodrijeti toplina iz vanjske okolice. To je bilo poznato kao »Joule-Thomsonov efekt«, jer je princip razradio Thomson (lord Kelvin) u suradnji sa svojim prijateljem engleskim fizičarom Jamesom Prescottom Jouleom (1818—89).

Prvi pokušaj iskorištavanja Joule-Thomsonova efekta da bi se postigle još niže temperature učinio je francuski fizičar Louis Paul Cailletet (1832—1913) godine 1877.

Započeo je snažnom kompresijom kisika u izoliranoj posudi. To je značilo da je plin postao vruć, pri obratnome Joule-Thomsonovu efektu. Zatim je cijev s komprimiranim kisikom uronio u hladnu vodu, da bi izvukao i odveo što je više moguće topline. Potom je dopustio da se hladan kisik vrlo brzo širi. Njegova je temperatura naglo pala i Cailletetu je konačno uspjelo ohladiti ga toliko da je dobio maglicu tekućih kapljica na stijenkama posude. Kapljice su bile tekući kisik. Maglica je, naravno, brzo nestala kako je toplina polako prodirala u cijev, no bila se pojavila.

Kasnije je uspio učiniti to isto s dušikom i ugljičnim monoksidom, kojima je za likvefakciju bila potrebna još niža temperatura nego kisiku.

Radeći istodobno kad i Cailletet, ali neovisno, švicarski kemičar Raoul Pierre Pictet (1842—1929) također je izveo tu majstoriju. On je primijenio nešto različitu metodu, tako da je komprimirani kisik hladio tekućim ugljičnim dioksidom. Uspio je dobiti kisik pod pritiskom od nekoliko stotina atmosfera i na temperaturi od 133°K, što je bilo dosta ispod njegove kritične temperature. Kad je otvorio ventil na cijevi koja je sadržavala kisik, komprimirani plin se izgubio, šireći se tako naglo da je temperatura pala na točku gdje je štrcnuo van mlaz tekućeg kisika koji je, naravno, brzo ispario.

Dva poljska kemičara, Karol S. Olszewski (1846—1915) i Zygmunt F. Wroblewski (1845—88) usavršili su 1883. godine

metode svojih prethodnika te uspjeli napraviti tekući kisik u velikim količinama. Cijevi s tekućim kisikom okružili su s drugim tekućinama koje su bile što je moguće hladnije, kako bi se smanjila brzina isparavanja. Kao rezultat toga, oni su prvi put mogli skupiti tekuća stanja plinova što više nisu bili permanentni i bez žurbe ih proučavati.

Olszewski je (nakon što je Wroblewski poginuo u jednoj nesreći u laboratoriju) dalje pripravio veće količine tekućeg dušika i tekućeg ugljičnog monoksida. Argon i fluor još nisu bili izlučeni, no kad je to učinjeno, iste su se metode mogle primijeniti za njihovo pretvaranje u tekuće stanje.

Proizašlo je da kisik ima vrelište na 90°K, argon na 87,5°K, fluor 85,1°K, ugljični monoksid na 81,6°K i dušik na 77,3°K.

Ostvarivši likvefakciju tih plinova, znanstvenici su postigli temperature karakteristične za vidljive površine takvih vanjskih planeta kakav je Uran. Godine 1981. otkriveno je da Titan, najveći Saturnov satelit, ima gustu atmosferu koja se sastoji velikim dijelom od dušika, a općenito se vjeruje da može imati jezera i rijeke na svojoj površini — od tekućega dušika.

(Zapravo, na temperaturi tekućega dušika jedan od takozvanih permanentnih plinova mogao bi zapravo biti smrznut. Ledište tekućeg argona je na 83,9°K.)

Tako su do 1895. godine jedini plinovi kojih likvefakcija nije postignuta bili neon, vodik i helij, a od njih neon i helij još nisu bili otkriveni (iako će biti tijekom iduće tri godine).

Tako je idući glavni nasrtaj bio upućen vodiku.

Kao i u slučaju pritiska, Joule-Thomsonov efekt pri likvefakciji plinova ne djeluje tako dugo dok određeni plin s kojim se radi ne dosegne određeni stupanj ohlađenosti. Za sve plinove osim neona, vodika i helija nije bilo teško doseći točku na kojoj djeluje Joule-Thomsonov efekt. Zapravo, za sve druge plinove sobna je temperatura bila dovoljno niska, čak i previše.

Kod vodika to, međutim, nije bilo tako. Joule-Thomsonov efekt nije djelovao kod vodika ako nije bio ohlađen na 190°K. To je valjalo spoznati prije no što se moglo pristupiti likvefakciju vodika, a prvi je to shvatio škotski kemičar James Dewar (1842—1923).

Dewar je najprije hladio svoj vodik tako da je posudu što je sadržavala taj plin uronio u kupku od tekućeg dušika. Dobivši vodik na temperaturi dosta ispod 190°K, ali još u plinovitu stanju, Dewar je započeo postupak sažimanja i ekspanzije i na taj je način napokon proizveo tekući vodik. Pokazalo se da tekući vodik ima vrelište na 20,3°K.

Proizvodnja tekućeg vodika je značila da su znanstvenici na Zemlji napokon uspjeli raditi s temperaturom nižom od ijedne koja postoji na nekom svijetu Sunčeva sustava. Površinska temperatura čak i na dalekom Plutonu dovoljno je visoka, zahvaljujući slabom zračenju sa Sunca udaljenog 7,300.000.000 kilometara, da održi neon i vodik (ako su prisutni) u plinovitu stanju.

Dakako, Jupiter i možda drugi divovski planeti čini se da su sastavljeni od vodika dovoljne gustoće da bi po svojstvima bio tekuć, no to je tekući vodik pod ogromnim pritiscima i na temperaturama bijelog žara. Nigdje u poznatom Sunčevu sustavu nema tekućeg vodika koji je u tekućem stanju samo zbog niske temperature te pod malim ili nikakvim pritiskom — osim u zemaljskim spremnicima.

Na temperaturama tekućeg vodika, sve su ostale tvari (osim jedne) u krutom stanju. Od plinova koji su pretvarani u tekućine u posljednjoj četvrtini devetnaestog stoljeća, kisik ima ledište na 54,7°K, argon na 83,9°K, fluor na 53,5°K, ugljični monoksid na 74°K, dušik na 63,3°K i neon na 24,5°K.

Jedina tekuća tvar na 20°K je sam vodik, a jedini plin je helij.

Ako se tekućem vodiku dopusti da ispari u uvjetima u kojima do njega ne može doprijeti toplina izvana, neispareni dio vodika rashladit će se znatno ispod njegove točke likvefakcije te će se konačno smrznuti na 14,0°K.

A *ipak*, i na tako niskoj temperaturi, helij ostaje uporno plinovit. On je jedini plin u temperaturnome svijetu sveopće krutosti.

Dewar nije uspio ostvariti likvefakciju helija pa je taj problem preuzeo nizozemski fizičar Heike Kamerlingh-Onnes (1853—1926). Započeo je hlađenjem uzorka plinovitog helija u kupki tekućeg vodika. Tek se tada temperatura plina helija dovoljno spustila da bi počeo djelovati Joule-Thomsonov efekt. Godine 1908. Kamerlingh-Onnes pretvorio je helij u tekuće stanje na temperaturi od 4,2°K.

Na određeni način, čak ni to nije bio kraj u vezi s plinovima, iako se 1908. svakako činilo da jest. Kako je odmicalo dvadeseto stoljeće, došlo se do saznanja o postojanju atomskih podvrsta ili izotopa (o čemu smo već govorili).

Tako se vodik, u prirodi, sastoji od dva stabilna izotopa, »vodika-1« i »vodika-2«. Atomi vodika-1 imaju jezgre koje su sastavljene od jednog protona; atomi vodika-2 imaju jezgre sastavljene od jednog protona i jednog neutrona.

Protoni i neutroni imaju otprilike jednake mase, tako da vodik-2 ima dvostruko veću masu od vodika-1, pa je stoga atome vodika-2 teže osloboditi jedne od drugih i prouzročiti isparavanje. Općenito to vrijedi za sve elemente. Izotopi s više čestica u jezgrama imaju više vrelišta od onih s manje čestica.

U većine elemenata, broj čestica u jezgrama tako je velik, u svakom slučaju, da jedna ili dvije čestice manje ili više ne čine veliku razliku. U slučaju vodika, razlika između jezgre s jednom česticom i one sa dvije čestice iznosi 100 posto. Dok običan vodik (kod kojega su 6.999 atoma od svakih 7.000 vodik-1) ima vrelište na 20,3°K, vrelište vodika-2, ako se izluči i ispituje veća količina, nalazi se na 23,4°K, što za više od tri stupnja premašuje vrelište vodika-1.

Slučaj helija je obratan. Gotovo svaki atom helija ima jezgru sastavljenu od dva protona i dva neutrona pa je, prema tome, to »helij-4«. Taj helij ima točku likvefakcije na 4,2°K. No, jedan na svakih 750.000 atoma helija ima jezgru sastavljenu od dva protona i jednog neutrona pa je to »helij-3«.

Ako bi se izlučila veća količina helija-3 u čistom obliku, i ako bi se neki spomenik s njim uronio u tekući helij na 4,2°K, helij-3 bi, kao lakši od njih, i dalje ostao u plinovitu stanju. Helij-3 bi se morao rashladiti za još jedan stupanj, jer se on neće pretvoriti u tekuće stanje sve dok se ne dosegne temperatura od 3,2°K.

Kamerlingh-Onnes nije slutio da postoji helij-3, no to nije bilo važno. Dopustivši heliju da ispari u izoliranim uvjetima, on je snizio njegovu temperaturu na 0,83°K prije no što je umro. To je značilo da je postigao temperaturu na kojoj nijedna tvar ne može biti potpuno plinovita, iako će čak i na

toj temperaturi nešto helija postojati kao para u ravnoteži s tekućinom.

Kad su u laboratoriju stvorene temperature manje od jednog stupnja iznad apsolutne nule, pokazalo se da je čovječanstvo ostvarilo nešto značajno.

Rekoh već prije da nijedan poznati planet u Sunčevu sustavu nije dovoljno hladan da bi se na njemu vodik mogao pretvoriti u tekuće stanje u uvjetima malog ili nikakvog pritiska. Moguće je, međutim, da postoje planeti još udaljeniji od Sunca nego što je to Pluton. Postoje, na primjer, nagađanja o postojanju velikog broja kometa daleko iza Plutona.

Ta vrlo daleka tijela moraju biti hladnija od Plutona. Mogu li biti toliko hladna da bi se na njima vodik smrzavao, tako hladna da bi se čak i helij pretvorio u tekućinu i smrznuo? Recimo da je neki objekt izgubljen duboko u svemiru, između galaksija, tako daleko od svake zvijezde da ne prima praktički uopće nikakvu zvjezdanu svjetlost. Kako bi on tada bio hladan? Bi li se nalazio na apsolutnoj nuli?

Pretpostaviti da bi takva tijela bila na apsolutnoj nuli bio bi razložan zaključak, no bio bi pogrešan. Svemir je pun kozmičkog zračenja, kao i pozadine mikrovalnog zračenja, što dopiru do svakog kuta njegova volumena. Svaki objekt u svemiru, bez obzira na svoju neproduktivnost kad je riječ o energiji i bez obzira na to koliko bio udaljen od neke zvijezde ili kojeg drugog očitog proizvođača energije, ipak apsorbira dovoljno kozmičkih zraka i mikrovalova da bi postizao temperaturu od 3°K. To je općenita temperatura svemira.

To znači (pod uvjetom da nema drugih inteligentnih organizama u vrlo dalekim prostorima koja također eksperimentiraju s ekstremno niskim temperaturama) da je Kamerlingh-Onnes stvorio temperature s tekućim helijem koje su bile *svemirski* rekord. On je stvorio temperature niže od svih što postoje prirodno *igdje u svemiru.*

Pa ipak u jednom pogledu nije uspio. Nikad nije postigao konačnu pobjedu. Čak i na temperaturi od 0,83°K helij je ostao tekuć. Kamerlingh-Onnes nije uspio postići jedan cilj — stvaranje krutog helija.

Nije to ni mogao, ma kako niske temperature postizao. Naime, na apsolutnoj nuli sadržaj energije atoma i molekula nije potpuna nula. Kad bi bio, i kad bi atomi helija (ili bilo koje druge vrste) imali energiju nula, tada bi oni bili

nepomični. Njihov bi moment bio nula te bi se njihov položaj mogao točno odrediti.

Postoji, međutim, vrlo snažan »princip neizvjesnosti« što ga je prvi izrazio 1927. godine njemački fizičar Werner Karl Heisenberg (1901—76), a govori o tome da se položaj i moment nikad ne mogu istodobno i savršeno odrediti, već da uvijek mora postojati preostala neizvjesnost. Tvar zadržava neku vrlo malu količinu energije čak i na apsolutnoj nuli i ta se količina nikad ne može ukloniti, da bi se održao zahtjev principa neizvjesnosti.

Budući da se taj sićušni dio energije ne može nikako ukloniti, apsolutna je nula doista apsolutna. No kako je taj zadnji tračak energije prisutan, i dostatan da održi helij tekućim, helij ostaje tekuć sve do apsolutne nule.

To vrijedi barem pri uobičajenom atmosferskom pritisku. Godine 1926, nekoliko mjeseci nakon što je umro Kamerlingh-Onnes, njegov suradnik Willem Hendrik Keesom (1876—1956) primijenio je pritisak na tekući helij i napokon ga pretvorio u krutinu.

Bio je to konačni cilj. Napokon su u laboratoriju (i možda nigdje drugdje u svemiru) postignuti uvjeti u kojima je svaka supstancija bila u krutom stanju.

Činilo se da je time igra završena, jer što se još moglo postići, uz temperature koje su bile spuštene sve do malog djelića stupnja iznad apsolutne nule i uz sve u krutom stanju?

Zapravo, kao što se pokazalo, neki tipovi tvari odavali su vrlo neobična svojstva u blizini apsolutne nule. Živa, olovo te brojni drugi metali i legure, na određenim su kritičnim, vrlo niskim temperaturama gubili *sav* otpor prema električnoj struji i postajali »supervodljivi«. Osobito je tekući helij imao i druga neobična svojstva.

Da bi proučili sva ta svojstva, znanstvenici su nastavili težiti za sve nižim i nižim temperaturama. Nisu imali nikakvih iluzija da će, postigavši temperature niže od 1°K, preostati samo posljednji brzi napor do konačne pobjede. Godine 1906. njemački kemičar Walther Hermann Nernst (1864—1941) formulirao je »treći zakon termodinamike«. Iz tog se trećeg zakona može zaključiti da postizanje apsolutne temperature uvijek zahtijeva isti napor, bez obzira na polazište. Nikakvim se naporom, prema tome, neće doseći apsolutna nula, kao što se neće doseći ni brzina svjetlosti.

Unatoč tome, znanstvenici su smatrali vrijednim približiti se apsolutnoj nuli što je više moguće.

Postupak dopuštanja plinovima da se šire i tekućinama da isparavaju stigao je do mrtve točke u 1920-im godinama, na oko 0,5°K. Bilo je potrebno nešto novo.

Godine 1926, nizozemski kemičar Peter J. W. Debye (1884—1966) i američki kemičar William Francis Giauque (1895—) neovisno jedan o drugome predložili su novi postupak.

U nekih supstancija, kao što je gadolinijev sulfat, atomi metala, u ovom slučaju gadolinija, ponašaju se poput malih magneta. U prisutnosti nekog snažnog magnetskog polja, svi se atomi poredaju u jednom smjeru i supstancija je magnetizirana. Ako se tada magnetsko polje ukloni, atomi se kaotično trzaju na sve strane i sol gubi svoja magnetska svojstva.

Atomi, kad se počnu kaotično gibati, apsorbiraju toplinu, a ako su izolirani od vanjske okolice, moraju je apsorbirati iz same supstancije, tako da temperatura pada. Ako se, prema tome, gadolinijev sulfat magnetizira i potom ohladi do najniže moguće temperature, a magnetsko polje zatim ukloni, temperatura će se još dalje sniziti.

Potrajalo je nešto vremena da bi taj postupak donio praktične rezultate, no do 1933. godine Giauque je uz pomoć gadolinijeva sulfata stvorio temperaturu od 0,25°K. Iste su godine nizozemski kemičari upotrijebili cerijev fluorid da bi postigli temperaturu od 0,13°K i cerijev etil sulfat da bi postigli 0,0185°K. Poslije toga, primjenom tog postupka stvorene su temperature od samo 0,003°K.

Godine 1962. njemačko-engleski fizičar Heinz London (1907 —) upozorio je da se atomi helija-3, kao lakši od atoma helija-4, gibaju brže pa nerazmjerno pridonose temperaturi. Na vrlo niskim temperaturama, helij-3 i helij-4 ne miješaju se savršeno pa se primjenom nekih postupaka helij-3 može izlučiti iz mješavine. On sa sobom odnosi najveći dio topline pa se temperatura onog što preostaje još više snizuje.

Kombinacija metoda helija-3 i demagnetizacije tako je omogućila temperature od samo 0,00002°K — temperature unutar pedesettisućinke stupnja do apsolutne nule.

23

Svjetlost

JAČINA

Promjene temperature stvaraju brojne efekte, a u ovom ćemo poglavlju razmatrati jedan od njih — i to vrlo zamjetljiv.

Sve supstancije, na svim temperaturama iznad apsolutne nule, emitiraju valove elektromagnetskog zračenja. Za određenu je temperaturu karakteristična shema valnih dužina pa se tako temperatura neke daleke zvijezde može odrediti prema shemi valnih dužina što je ona emitira.

Općenito, valne dužine pokrivaju veliki raspon od sasvim dugih do sasvim kratkih, s vrhom na nekoj srednjoj vrijednosti. Kako se temperatura povećava, valne dužine pomiču se prema kraćem (i stoga nabijenijom energijom) kraju spektra, a isto tako i vrh.

Kod svih običnih temperatura, do oko 600° C, zračenje koje se emitira nalazi se u području radio-valova, ili u području nešto kraćih mikrovalova, ili u području još kraćega infracrvenog zračenja. Sve te grupe zračenja obilježava jedno zajedničko svojstvo — one ne djeluju na mrežnicu oka. Tako čelični blok na bilo kojoj temperaturi u rasponu od 1.000 stupnjeva između apsolutne nule i 600°C može na dodir biti hladan, topao ili čak prevruć da bi ga se dotaklo, i može emitirati obilje zračenja; no ništa od toga zračenja naše oči neće osjetiti pa će u mraku taj čelični blok ostati nevidljiv.

Međutim, iznad 600°C, jedan dio zračenja širi se u područje vidljive svjetlosti. U početku, samo najduži valovi vidljive svjetlosti zrače u zamjetljivim količinama, a kako su oni crvene boje, objekt je »užaren do crvenila«. Ako temperatura dalje raste, pojavljuje se sve više kraćih valnih dužina svjetlosti pa objekt postaje narančast a potom blijedi i postaje »užaren do bjelila«, jer su sad uključene sve boje spektra. Neki objekt koji je tako vruć kao Sunčeva površina zrači uglavnom u spektru vidljive svjetlosti, iako se Sunčevo zračenje širi daleko iza toga u nevidljive duže valove i nevidljive kraće valove.

Čovjek visoke temperature povezuje s vidljivim žarom, a jedini način da neki vrlo vruć objekt ostane nevidljiv jest njegovo okruživanje nečim hladnijim. Tako je vrlo vruća Zemljina unutrašnjost za nas nevidljiva samo zbog toga što je okružena hladnom korom.

Moguć je također i izvor svjetlosti koji nema visoku temperaturu. Krijesnice su dobro poznati primjer.

Ljudskim je bićima općenito veliki izvor svjetlosti Sunce i, k tome, Mjesec i drugi astronomski objekti. Dakako, i u davnim je vremenima postojala vatra. Ljudska su bića naučila održavati i sama stvarati vatru te je na kraju umjetna rasvjeta postala za čovječanstvo značajnijom od svjetlosti svih astronomskih objekata osim samoga Sunca. Pa ipak, relativna sjajnost astronomskih objekata uvijek je pobuđivala veliko zanimanje znanstvenika, a i danas je tako.

U davna vremena, samo su se dva tipa svojstava zvijezda mogla određivati bez suvremenih instrumenata, i to samo grubo. Bili su to položaj i blistavost.

Prva osoba koja je, koliko znamo, pokušala izraditi kartu neba i naznačiti položaj barem nekih od brojnih zvijezda bio je grčki astronom Hiparh (190—120. godine pr. n. e.). Oko 130. godine pr. n. e. pripremio je katalog u kojem je naveo 1.080 zvijezda, dajući za svaku nebeske dužine i širine, najbolje koliko su se mogle odrediti bez ure, teleskopa ili ijednoga drugog suvremenog instrumenta.

Nije zanemario ni drugo svojstvo — blistavost. Hiparh je podijelio zvijezde u šest grupa. Prva je grupa obuhvaćala dvadeset najblistavijih zvijezda na nebu. Druga je uključivala malo tamnije zvijezde, treća još tamnije i tako dalje. Šesta je uključivala one zvijezde koje je osoba oštra vida jedva mogla vidjeti za tamne noći bez mjesečine.

Svaka grupa kasnije će se nazvati »veličinom« (»magnitude«), prema latinskoj riječi za »velik«, zato što se držalo da su sve zvijezde jednako udaljene, uglavljene u čvrsti »nebeski svod«, pa zato veće zvijezde sjaje blistavije. Najblistavije su zvijezde, prema tome, pripadale »prvoj veličini« (ili prvome redu), druge po blistavosti »drugoj veličini« i tako dalje. Taj je sistem zadržan do danas.

Podjela zvijezde na veličine bila je s početka posve kvalitativna. Neke zvijezde prvoga reda očito su blistavije od nekih drugih zvijezda također prvoga reda, no o tome se nije vodilo računa. Prvi atsronomi nisu se previše zabrinjavali ni zbog toga što najtamnije zvijezde prvoga reda nisu bile mnogo blistavije od najblistavijih zvijezda drugoga reda. Među zvijezdama zapravo postoji kontinuirana gradacija blistavosti, no klasifikacija na odjelite grupe to zanemaruje.

Tijekom 1830-ih godina započeli su pokušaji da se napokon usavrši 2.000 godina star hiparhovski sistem.

Jedan je pionir bio engleski astronom John Herschel (1792—1871) koji je promatrao južne zvijezde s krajnjega juga Afrike. Godine 1836. smislio je instrument koji je mogao stvarati malu sliku punog Mjeseca što se mogla rasvjetljavati i zatamnjivati s pomoću manipuliranja lećom. Slika se tada mogla izjednačiti po blistavosti sa slikom neke određene zvijezde. Na taj je način Herschel mogao procijeniti relativnu blistavost zvijezda dosta istančano te odrediti gradacije manje od čitave veličine.

Korištenje punim Mjesecom ograničavalo je, međutim, vrijeme kad su se mogla obavljati mjerenja i omogućavalo mjerenja samo najblistavijih zvijezda, jer je tamnije zvijezde potirala mjesečina.

Otprilike u isto to vrijeme njemački je fizičar Karl August von Steinheil (1801—70) izumio sličnu napravu koja je mogla stvoriti jednu do druge slike dviju različitih zvijezda, od kojih se jedna mogla zatamnjivati ili rasvjetljavati da bi se uskladila s drugom. Sada su konačno jačine zvijezda mogle biti izražene kvantitativno.

Steinheil je držao da se gradacije blistavosti osjećaju logaritamski. Drugim riječima, da na oko djeluju omjeri blistavosti, a ne stvarne razlike. Primjerice, ako je zvijezda A tri puta blistavija od zvijezde B i devet puta blistavija od zvijezde C, zvijezda B izgledat će onoliko blistavijom od zvi-

jezde C, koliko zvijezda A izgleda blistavijom od zvijezde B. U oba slučaja, omjer je bio tri.

Engleski astronom Norman Robert Pogson (1829—91) ustvrdio je 1856. godine da je prosječna zvijezda prvoga reda oko sto puta blistavija od prosječne zvijezde šestog reda, na temelju pomnjivih mjerenja koja tada postadoše mogućima. Ako bi se htjelo da pet intervala između šest jačina ispadnu upravo 100, omjer svakog od tih pet intervala mora biti peti korijen iz 100, što je oko 2,512. (Drugim riječima, $2{,}512 \times 2{,}512 \times 2{,}512 \times 2{,}512 \times 2{,}512$ otprilike je jednako 100.)

Ako, prema tome, izaberete jačinu 1,0 na takav način da je smjestite manje ili više u sredinu među zvijezdama prvog reda, tada možete nastaviti računati dalje omjerima 2,512. Kako su se fotometri usavršavali, astronomi su mogli određivati jačine do jedne decimale i čak, ponekad, prodrijeti do druge decimale. Blistavija od dvije zvijezda, ako je dijeli jedna desetina jačine, oko 1,1 put je blistavija od tamnije; ako je dijeli jedna stotinka jačine, blistavija je 1,01 puta.

Primjenjujući taj novi sistem, više ne moramo reći samo to da su Poluks i Fomalhaut obje zvijezde prvog reda. Umjesto toga, možemo reći da Poluks ima jačinu 1,16, a Fomalhaut 1,19.

Do trenutka kad je Pogson razradio tu skalu veličina, zvijezde šestoga reda nipošto nisu bile najtamnije zvijezde što se mogaše vidjeti. Teleskop je otkrio mnogo tamnije zvijezde, a postupna usavršavanja tog instrumenta otkrivala su još tamnije. Nastavi li se s omjerom 2,512, mogu se dobiti zvijezde sedmog reda, zvijezde osmog reda, zvijezde devetoga reda i tako dalje, pri čemu se svaka mjeri do najbliže vrijednosti što nam je omogućuju instrumenti.

Najbolji suvremeni teleskopi otkrit će vrlo tamne zvijezde, čak dvadesetog reda, ako stavimo oko na okular. Ako na okular stavimo fotografsku ploču i pustimo da se fokusirana svjetlost akumulira, moći ćemo otkriti zvijezde sve do dvadeset i četvrtog reda.

Zvijezda dvadeset i četvrtoga reda osamnaest je jačina tamnija od najtamnijeg objekta što ga možemo vidjeti golim okom. Prema logaritamskoj skali, to znači da je najtamnija zvijezda koju su mogli vidjeti antički ljudi oko 16,000.000 puta blistavija od najtamnije zvijezde što je mi možemo vidjeti.

Postoje, naravno, zvijezde koje su blistavije od prosječnih zvijezda prvoga reda i koje, prema tome, imaju jačine manje od 1,0 (što je manji broj, podsjetimo se, to je zvijezda blistavija). Tako postoji Procyon, jačine 0,38.

Procyon, međutim, nije najsjajnija zvijezda na nebu. Postoji tek nekoliko zvijezda koje su zapravo sjajnije jačinom od 0,00 pa imaju negativne jačine. Alfa Centauri ima jačinu —0,27; Canopus —0,72; a Sirius ima jačinu koja prelazi —1, jer je njegova jačina —1,42.

To znači da je Sirius, najsjajnija među tradicionalnim zvijezdama prvoga reda, zapravo tri jačine sjajniji od najtamnije tradicionalne zvijezde prvoga reda, Kastora, jačine 1,58. Sirius je oko šesnaest puta sjajniji od Kastora i oko 15,000.000.000 sjajniji od najbljeđe zvijezde koju nam mogu pokazati naši teleskopi.

Postoje li na nebu objekti sjajniji od Siriusa?

Svakako! Nekoliki su planeti sjajniji od Siriusa barem kroz stanovito vrijeme. Kad je planet Jupiter najblistaviji na nebu, on doseže jačinu —2,5. Mars može doseći jačinu —2,8, dok Venera, najsjajniji planet, može postići jačinu —4,3. Kad je najsjajnija, Venera je oko petnaest puta blistavija od Siriusa.

No čak ni to ne predstavlja vrhunac. Mjesec je daleko blistaviji čak i od Venere; kad je Mjesec pun, može postići jačinu —12,6. To znači da je puni Mjesec oko 2.000 puta sjajniji od Venere.

Tako preostaje Sunce, kojega je jačina —26,91. Sunce je 525.000 puta sjajnije od punog Mjeseca, 1,000.000.000 sjajnije od Venere, 15,000.000.000 puta sjajnije od Siriusa i punih 25,000.000.000.000.000.000 puta sjajnije od najtamnijeg objekta kojeg će nam pokazati teleskop.

Budući da se na nebu ne može vidjeti ništa sjajnije od Sunca i ništa tamnije od najtamnije zvijezde koju nam teleskop može pokazati (barem dok se teleskopi još više ne usavrše), doprli smo do granice u oba smjera, prešavši raspon od pedeset i jedne veličine.

APSOLUTNA JAČINA

Sve jačine o kojima smo dosad govorili bile su *prividne* jačine. Sjajnost nekoga objekta, onakva kakvim ga vidimo, ne ovisi samo o tome koliko svjetlosti on emitira, već i o tome koliko je udaljen od nas. Neki objekt koji je doista izvanredno taman u apsolutnom smislu, kao što je to žarulja od 100 watta, možemo staviti ravno preda se i našim će se očima činiti sjajniji od Mjeseca. S druge strane, neka zvijezda koja emitira mnogo više svjetlosti od Sunca može biti tako daleko da nam je neće pokazati čak ni teleskop.

Da bismo, prema tome, odrediti razine *stvarne* blistavosti, da bismo izmjerili svjetlost koju neki objekt *doista* emitira — njegovu »sjajnost« — moramo zamisliti da su svi objekti o kojima je riječ na nekoj jednakoj udaljenosti od nas. Za tu je stalnu udaljenost odabrano (proizvoljno) 10 parseka, što iznosi 32,6 svjetlosnih godina.

Kad je poznata udaljenost nekog objekta i izmjerena njegova blistavost na toj udaljenosti, moguće je izračunati kakva će biti ta blistavost na svakoj drugoj udaljenosti. Jačina koju bi imao neki objekt kad bi bio udaljen od nas točno 10 parseka njegova je »apsolutna jačina«.

Naše je Sunce, na primjer, udaljeno od nas oko 149,500.000 kilometara, ili 1/200.000 parseka. Zamislite da je udaljeno od nas 10 parseka, i time ste povećali njegovu udaljenost 2,000.000 puta. Njegova prividna sjajnost opada s kvadratom tog broja, ili 4,000.000.000.000 puta. To znači da se njegova sjajnost smanjuje za oko 31,5 jačina. Njegova je apsolutna jačina prema tome oko 4,7.

Sunce bi, promatrano s udaljenosti od 10 parseka, bilo vidljivo, ali sjalo bi kao prilično tamna i dosta neugledna zvijezda.

A kako je sa Siriusom? On je već na udaljenosti od 2,65 parseka. Ako ga zamislimo na 10 parseka, njegova bi se blistavost zatamnila za blizu tri jačine pa bi njegova apsolutna jačina bila 1,3. On više ne bi bio najsjajnija zvijezda na nebu, no i dalje bi bio zvijezda prvoga reda.

Apsolutne jačine koje brišu razlike u udaljenosti kao faktor, pokazuju nam da je Sirius oko dvadeset i tri puta blistaviji od Sunca; naime, on emitira dvadeset i tri puta više svjetlosti.

Sirius je, međutim, daleko od toga da bi bio najsjajnija postojeća zvijezda. Postoje i mnogo blistavije zvijezde. Od svih zvijezda prvoga reda, najudaljenija je Rigel — 165 parseka. On je tek sedma najblistavija zvijezda na nebu i ima samo četvrtinu blistavosti Siriusa. No, Rigel je više od šezdeset puta udaljeniji od nas nego što je to Sirius. Da bi pružao tako doličnu predstavu s takve udaljenosti, Rigel mora biti vrlo sjajan.

I doista jest! Apsolutna jačina Rigela je —6,2. Smjestite ga na udaljenost od 10 parseka, pa iako bi bio na gotovo četiri puta većoj stvarnoj udaljenosti od Siriusa, ne samo što bi uvelike sjajem nadmašio tu zvijezdu, već bi sjajio blistavije čak od Venere — oko šest puta blistavije. Rigel je zapravo 1.000 puta sjajniji od Siriusa i 23.000 puta sjajniji od Sunca.

Rigel je najsjajnija zvijezda za koju znamo u našoj galaksiji, no postoje i druge galaksije. Veliki Magellanov oblak je satelitska galaksija naše galaksije i u njoj se nalazi zvijezda s imenom S Doradus. Suviše je tamna da bi se mogla vidjeti, osim uz pomoć teleskopa, ali udaljena je oko 45.000 parseka pa su astronomi bili zapanjeni što je tako sjajna kakvom se pokazuje, s obzirom na tu udaljenost. Pokazalo se da ima apsolutnu jačinu —9,5. To znači da je oko dvadeset i jedan put sjajnija od Rigela i gotovo 500.000 sjajnija od Sunca.

Kad bi S Doradus bio na mjestu našega Sunca, planet koji bi kružio oko njega na udaljenosti sedamnaest puta većoj od Plutonove vidio bi da sjaji jednako blistavo kao što mi vidimo naše Sunce.

S Doradus je najsjajnija stabilna zvijezda za koju znamo. Ona emitira više svjetlosti, dan za danom, stoljeće za stoljećem, od ijedne druge. Sve zvijezde, međutim, nisu stabilne. Zvijezde povremeno eksplodiraju i u tom procesu snažno pojačavaju sjajnost, iako samo privremeno.

Veličina toga pojačanja ovisi o veličini zvijezde. Što zvijezda ima veću masu, to je i eksplozija silnija. Doista veličanstvena eksplozija neke »supernove« može dovesti jednu jedinu masivnu zvijezdu do apsolutne jačine, za vrlo kratko vrijeme, od oko —19.

Kroz vrlo kratko vrijeme, takva jedna supernova blistat će sjajnošću oko 6.000 puta većom od S Doradusa i oko 10,000.000.000 puta većom od Sunca. Čak i na udaljenosti od

10 parseka, sjajit će 360 puta blistavije od punog Mjeseca i imati jednu tisućinku sjajnosti našega vrlo blizog Sunca.

Jesmo li sada dosegli gornji horizont sjajnosti? Nismo! Supernova je samo jedna zvijezda. Ne možemo li razmotriti sjajnost neke grupe zvijezda?

Jedan par zvijezda, ako su jedna drugoj dovoljno blizu, izgleda iz daljine kao jedna zvijezda. Ako obje zvijezde imaju jednaku blistavost, one zajedno su 0,75 jačina blistavije od svake zvijezde pojedinačno.

Dvojne zvijezde su vrlo česte, a čak ni sustavi sa tri ili četiri zvijezde nisu posve rijetki. Zvijezde zapravo postoje i u velikim grozdovima. Postoji oko 125 poznatih »globularnih grozdova« povezanih s našom galaksijom, a svaki sadrži između deset tisuća do nekoliko stotina tisuća zvijezda koje su sve gusto zbijene (gusto zbijene barem prema standardima našega zvjezdanog susjedstva).

Mogli bismo tako razmotriti neki globularni grozd sastavljen od 1,000.000 zvijezda, od kojih svaka ima sjajnost našeg Sunca. Takav bi jedan ogroman grozd bio, ipak, jedva dvostruko sjajniji od jedne jedine zvijezde S Doradus. Neka divovska supernova može postići sjajnost 3.000 puta veću od velikoga globularnog grozda. Prema tome, nijedan globularni grozd ne može postaviti rekord sjajnosti.

Međutim, svaka galaksija ima jezgru koja odgovara globularnom grozdu ogromne veličine. Središte naše galaksije je gusto zbijeni grozd sastavljen od zvijezda koje, ukupno, emitiraju 100,000.000.000 puta više svjetlosti od našega Sunca. Može se izračunati da njegova apsolutna jačina iznosi —22,8. (Ostatak galaksije, izvan jezgre, ima razmjerno rijetko raspršenje zvijezda, a ako bi se uključila i njegova sjajnost, ukupna vrijednost apsolutne jačine može dosezati —22,9.)

To djeluje poput novoga rekorda. Galaktička jezgra sjaji blistavošću koja više od tri puta nadmašuje blistavost supernove na vrhuncu. K tome, postoje i galaksije veće od naše. Neka velika galaksija lako može imati deset puta veću masu od naše i apsolutnu jačinu —25.

U ovom proračunavanju apsolutnih jačina globularnih grozdova i galaksija postoji, međutim, »kvaka«, jer je tu riječ o rasprostrijetim tijelima. Neki veliki globularni grozd može imati promjer do 100 parseka, a galaktička jezgra do 5.000 parseka. Apsolutna se jačina može izračunati, ali se ne može osjetiti na uobičajeni način.

Ako zamislite da je središnja točka nekoga globularnog grozda ili galaktičke jezgre udaljena 10 parseka, tada biste bili *unutar* objekta. Vidjeli biste zvijezde posvuda oko sebe i ne biste imali osjećaj združene sjajnosti, kao što ga nemate ni sada u našoj vlastitoj galaksiji.

Mogli bismo, dakako, uzeti 1,000.000 parseka kao konvencionalnu udaljenost pri izračunavanju sjajnosti, i tada bismo vidjeli da bi neka velika galaksija sjajem nadmašila svaku pojedinačnu zvijezdu u svim okolnostima. Ali, svi objekti viđeni s te udaljenosti (čak i uz dobar teleskop) djelovali bi vrlo tamno i neugledno.

Želimo li potražiti rekord sjajnosti dalje od supernova, moramo se zapitati postoji li išta što bi izgledalo kao jedan jedini objekt, razmjerno malen na udaljenosti od 10 parseka, a što bi ipak sjajem nadmašivalo neku supernovu iz dana u dan, postojano.

Takvo nešto doista postoji. Ono što zovemo »kvazarima«, to su, po svemu sudeći, galaktičke jezgre tako zgusnute i tako blistave da se mogu vidjeti (teleskopom) na udaljenostima od stotinu milijuna parseka. Nijedan drugi objekt ne može se vidjeti na takvim udaljenostima. Smatra se da tipični kvazar ima promjer, možda, samo pola parseka, pa ipak blista sjajnošću stotinu galaksija kakva je naša.

Pol parseka prilično je veliki promjer; to je promjer oko 12,000.000 puta veći od Sunčeva; i više od 1.000 puta je veći od promjera Plutonove orbite. Smjestite kvazar na udaljenost od 10 parseka, i njegov prividni promjer bit će gotovo 3 stupnja. To je promjer oko šest puta veći od promjera našeg Sunca ili punog Mjeseca, no i dalje bismo ga vidjeli kao jedan jedini blještavi objekt — otprilike kao što bismo vidjeli Sunce s površine planeta Merkura. (Izvan te briljantne jezgre postojale bi i pojedinačne zvijezde, no one ne bi imale nikakve značajne uloge ukoliko je riječ o sjajnosti.)

Prosječni kvazar imat će prema tome apsolutnu jačinu —28. On će sjati, *čak i na udaljenosti od 10 parseka,* oko dvostruko blistavije od Sunca na našemu nebu, iako je kvazar 2,000.000 puta udaljeniji.

No koliko je blistav *najblistaviji* kvazar?

Godine 1975. dva su harvardska astronoma proučavala stare fotografije kvazara 3C279. On obično sjaji prividnom jačinom osamnaest, no 1937. godine (kad nitko nije znao da je naizgled tamna i neugledna zvijezda bila zapravo ogro-

man i silno udaljen kvazar), nakratko je postigao prividnu jačinu jedanaest.

Sjajiti tako blistavo, jedanaestom veličinom, s udaljenosti od oko 2,000.000.000 parseka, gotovo je nevjerojatno. Na svome vrhuncu, 3C279 blistao je svjetlošću 10.000 običnih galaksija. Izračunato je da je njegova apsolutna jačina dosegla maksimum od —31.

Zamislite 3C279 udaljen od nas 10 parseka, i on će svijetliti blistavošću četrdeset puta jačom od našega Sunca kakvo ga danas vidimo. Kvazar kakav je 3C279 može, prema tome, doseći maksimum sjajnosti 100,000.000.000.000 jači od našega Sunca — ili 500,000.000 puta jači od S Doradusa — ili 60.000 puta jači od neke ogromne supernove na vrhuncu.

I to je najsjajniji objekt za koji, zasad, znamo.

U ovoj sam knjizi pošao tragom nekoliko značajnih širenja horizonata što su ih ostvarili čovjekova smionost i suvremena znanost. Postoje i drugi horizonti što se proširiše — magnetski intenzitet, viskozitet, kutni moment i tako dalje — no oni koje sam izložio dostaju da bi prikazali čovječanstvo u najdivnijoj njegovoj ljudskosti, sa svoje neumorne želje da prodire što je dalje moguće u svim smjerovima.

SADRŽAJ

Uvod 5

I DIO — HORIZONTI PROSTORA

1 Istočna polutka 9
Prethistorija 9, Antička putovanja kopnom 13, Antička putovanja morem 15, Srednjovjekovna putovanja morem 19, Orijentalna putovanja morem 23

2 Svijet kao cjelina 25
Obale Afrike 25, Novi svijet 28, Oko svijeta 31, Pacifički ocean 33, Arktička obala 35

3 Unutrašnjost i polovi 40
Unutrašnjost Sjeverne Amerike 40, Unutrašnjost Južne Amerike i Australije 44, Unutrašnjost Afrike 45, Istočni Arktik 49, Zapadni Arktik 51, Antarktičke vode 55, Antarktika 58

4 Valovitost površine 61
Planine 61, Uspon na Alpe 63, Onkraj Alpa 66, Spilje 69

5 Ocean 72
Vodena površina 72, Vodene dubine 75, Morsko dno 80, Plovila dubina 84

(Interludij: Horizonti brojeva) . . 91
Veliki brojevi 91, Mali brojevi 96

6 Ispod Zemljine površine 100
Masivna unutrašnjost 100, Potresi 102

7 Zemljina atmosfera 107
Iznad Zemljine površine 107, Čovjekovo lebđenje 109, Čovjekov let 112, Gornja atmosfera 114, Radio-valovi i elektroni 112

8 Onkraj balona 122
Akcija i reakcija 122, Rakete u začetku 125, Rakete u eksperimentu 129, Rakete u radu 132

9 Izlazak u svemir 137
Prvi sateliti 137, Ljudi u orbiti 141, Lunarne sonde 146, Dopiranje do Mjeseca 151

10 Unutrašnji Sunčev sustav 156
Iskorištavanje svemira 156, Venera 161, Merkur 166, Mars 168

11 Mars i dalje 173
Svemirska naselja 173, Jupiter 179, Najudaljeniji planeti 182, Kometi 186

12 Zvijezde 189
Udaljenost zvijezda 189, Svjetlosna barijera 194, Ispod svjetlosne barijere 197, Duge plovidbe 201

II DIO — HORIZONTI VREMENA

13 Starost povijesti 209
Kalendar 209, Životni vijek 212, Kronologija 217, Povijesno doba 221

14 Starost Zemlje 224
Uniformitarijanizam 224, Očuvanje energije 228, Radioaktivnost 232, Nastanak Sunčeva sustava 235

15 Sva vremena 240
Širenje svemira 240, Smrt Sunca 245, Smrt svemira 251, Sažimanje svemira 255

16 Trenuci vremena 259
Prema sekundi i dalje 259, Poluvremena 263, Putovanje kroz vrijeme 265

17 Brzina 268
Živa stvorenja 268, Nežiiv predmeti 272

III DIO — HORIZONTI TVARI

18 Masa, velika i mala 281
Živi divovi 281, Od Zemlje do svemira 285, Prema stanicama 288, Prema bakterijama 294, Prema virusima 297

19 Atomi i dalje 302
Djeljivost tvari 302, Atomske težine 306, Veličina atoma 308, Elektroni 310, Atomska jezgra 312, Neutrina 314

20 Gustoća i pritisak 317
Antičke gustoće 317, Suvremene gustoće 321, Pritisci na Zemlji 324, Pritisci onkraj Zemlje 328, Prema vakuumu 332

IV DIO — HORIZONTI ENERGIJE

21 Visoke temperature 339
Tališta i vrelišta 339, Planeti i zvijezde 344, Unutrašnjosti 347

22 Niske temperature 352
Planetarne površine 352, Likvefakcija plinova 355, Prema apsolutnoj nuli 361

23 Svjetlost 365
Jačina 365, Apsolutna jačina 370

Povijest dokazuje da je u čovjekovoj prirodi neprekidno traganje za sve većim znanjem. Bez našega stalnog posezanja za onim onkraj neposrednoga znanja, našega neprekidnog poriva da krećemo prema horizontu i otkrivamo što leži tamo i još dalje — ne bi bilo napretka.

Isaac Asimov koji je pisao gotovo o svakom području čovjekova djelovanja, sad nam pruža izvanredno čitljiv prikaz čovjekovih istraživanja i ispitivanja fizičkoga svijeta. U jednom svesku širokog raspona priča nam o tome kako su ljudi učili i kako su nastavljali učiti o svome svijetu, od velikih migracija prethistorije do svemirskih sondi današnjice i putovanja sutrašnjice o kojima jedva snivasmo.

Asimov obuhvaća velika otkrića u astronomiji, biologiji, zemljopisu, matematici, geologiji, fizici te praktički svim drugim područjima znanja. Pruža nam kronološki prikaz istraživanja, otkrića i izuma, razvitak znanstvene misli i znanstvene teorije i objašnjava jednostavno kako je čovjek stjecao, oplođivao i primjenjivao stečeno znanje kako bi naučio još više. On putuje od prošlosti do sadašnjosti i nastavlja dalje, da bi zamišljao smjerove kojima će nas znanje povesti u budućnosti.

Unutar četiri područja fizičkoga svemira — horizonata prostora, vremena, tvari i energije — Asimov otkriva kako je poriv za širenjem granica znanja odveo čovjeka dalje od obodnica poznatoga svijeta, da bi razvio teorije i naprave koje će mu dopustiti prodiranje u tajne Zemlje i svemira.
Tu su stotine fascinirajućih — i korisnih — činjenica, datuma, imena i brojaka koje su priča o čovjekovu prodoru u svijet i u svemir, s vječnim ciljem da širi horizonte znanja.